



FRANCE STRATÉGIE

ÉVALUER ANTICIPER DÉBATTRE PROPOSER

L'action climatique : un enjeu macroéconomique

La transition climatique est une grande transformation, analogue par son ampleur aux révolutions industrielles du passé, que le retard pris dans la réduction des émissions et le nouveau contexte géopolitique commandent de conduire à un rythme accéléré. Dans les années qui viennent, elle va affecter la croissance, l'inflation, les finances publiques, la compétitivité, l'emploi et les inégalités. Ses incidences sont encore mal prises en compte.

D'un point de vue économique, la transition vers la neutralité carbone repose sur trois mécanismes principaux : la substitution de capital à des combustibles fossiles, qui va impliquer une augmentation substantielle des investissements (2,5 points de PIB en 2030, soit 70 milliards aux prix de 2021) ; l'accélération de la réorientation du progrès technique vers les alternatives aux énergies fossiles et l'amélioration de l'efficacité énergétique ; enfin la modération des usages et des consommations énergivores (sobriété).

Le dosage entre ces trois mécanismes relève de choix collectifs, qui peuvent différer d'un pays à l'autre et qui peuvent aussi varier dans le temps. À long terme (2050), la réorientation du progrès technique jouera un rôle majeur. Les progrès déjà réalisés montrent qu'une économie climatiquement neutre n'est pas une utopie. L'objectif de « zéro émission nette » en 2050 est à notre portée. À moyen terme (2030), il faut miser sur les technologies déjà fiables, et donc combiner substitution du capital aux énergies fossiles et efforts de sobriété. Il ne faut pas se cacher les coûts économiques de ces efforts. L'investissement supplémentaire va certes stimuler la demande, mais l'essentiel se joue du côté de l'offre. Parce que du capital matériel (équipements, bâtiments), immatériel (brevets) et humain (qualifications) va être dévalorisé, la production potentielle va très certainement baisser ; parce que les efforts de recherche et développement seront principalement orientés vers l'économie de combustibles fossiles, les gains de productivité du travail et donc la croissance risquent d'être temporairement réduits.

Les actions de sobriété peuvent contribuer à la transition sans nécessairement réduire la consommation, la croissance et le bien-être, notamment si elles résultent de changements dans les préférences des consommateurs et sont accompagnées de modifications dans l'offre de biens et services.

Au total, il va falloir transitoirement investir davantage, dans un contexte de réduction de l'offre. L'impact immédiat de la transition a ainsi toute chance d'être inflationniste. Quant aux finances publiques, elles devront porter le poids des investissements publics et soutenir les efforts des entreprises et ménages insuffisamment solvables. Les politiques publiques ont cependant la capacité de réduire substantiellement les coûts économiques de la transition. Elles peuvent en particulier :

- construire un consensus sur la stratégie ;
- remédier à un déficit de crédibilité avéré qui, en plus d'être climatiquement dommageable, est économiquement coûteux ;
- adopter une approche économique. À défaut d'une tarification générale du carbone, en dehors des marchés européens de quotas, le dosage des efforts publics devra reposer sur une trajectoire de prix implicites ;
- se doter d'une doctrine d'emploi des fonds publics. Il y a beaucoup de mauvaises raisons de s'endetter, la transition climatique n'en fait pas partie. Il faut que la réforme du Pacte de stabilité prenne cette dimension en compte ;
- mieux articuler stratégie nationale et stratégie européenne. Le climat est une compétence européenne, mais nombre d'actions (politique énergétique, transports, logement) relèvent principalement de décisions nationales.

Jean Pisani-Ferry
et Selma Mahfouz

La *Note d'analyse* est publiée sous la responsabilité éditoriale du commissaire général de France Stratégie. Les opinions exprimées engagent leurs auteurs et n'ont pas vocation à refléter la position du gouvernement.

Cette note rassemble de premières analyses et esquisse de premières recommandations, en réponse à la **lettre de mission** adressée le 12 septembre 2022 par la Première ministre à Jean Pisani-Ferry. Selma Mahfouz, de l'Inspection générale des finances, est rapporteure générale de la mission. Le secrétariat scientifique est assuré par France Stratégie. Un rapport complet sera publié au printemps 2023. La note prend appui sur les réflexions d'un groupe de travail réuni au printemps et à l'été 2022 par France Stratégie. Elle a été préparée avec l'appui de Boris Le Hir, directeur de projet, Anne Épaulard, Maxime Gérardin, Aude Pommeret, Nicolas Riedinger, Alice Robinet, Romain Schweizer et Athiana Tettaravou. Nous tenons à remercier les relecteurs des versions préliminaires de cette note, ainsi que les équipes d'Ifce, de l'Ademe et de Rexecode, avec lesquelles nous avons interagi pour le chiffrage des investissements climat.

MACROÉCONOMIE ET TRANSITION CLIMATIQUE

La transition climatique est devenue une question macroéconomique immédiate

Avec le Pacte vert pour l'Europe ou Green Deal, l'Union européenne et la France se sont engagées dans une accélération marquée du rythme de la transition climatique et se sont fixé des objectifs ambitieux à un horizon rapproché. Réduire le volume des émissions de 55 % entre 1990 et 2030, comme le prévoit la **loi climat européenne**, suppose d'accélérer très substantiellement le rythme de baisse des émissions de gaz à effet de serre, même si l'on tient compte du ralentissement anticipé de la croissance par rapport aux trente dernières années (Tableau 1).

Une telle modification de trajectoire ne se conçoit pas sans un changement profond de modèle de développement. Pour l'atteindre, la stratégie européenne combine réglementations, extension graduelle du champ d'application des quotas carbone et mécanismes de subvention ; elle prévoit aussi une coordination étroite entre politique européenne et politiques nationales. La première question est évidem-

ment celle de la mise en œuvre et de l'effectivité de ces mesures. Se posent aussi celle de leur impact sectoriel et celle de leur incidence distributive.

Mais pour importantes qu'elles soient, ces questions ne doivent pas occulter l'impact macroéconomique de ces mesures sur la croissance, l'emploi, l'inflation, les finances publiques et la compétitivité. Relativement secondaires tant que la transition était envisagée comme un processus de longue haleine, ces enjeux sont soudainement venus sur le devant de la scène. Dans leurs décisions à horizon de cinq ou dix ans, les décideurs publics, les acteurs économiques et sociaux, les citoyens ne peuvent plus les ignorer.

À cet effet de champ se combine en outre un effet d'accélération. Parce qu'elle va devoir être rapide, la transition va impliquer une obsolescence accélérée du capital, qu'il s'agisse des équipements, des qualifications, des brevets ou de la valeur des actifs financiers ; elle va induire une réallocation du travail entre qualifications, secteurs et régions et donc nécessiter des politiques d'accompagnement ; solliciter les finances publiques pour appuyer le financement des investissements des ménages les moins prospères et des entreprises contraintes financièrement ; et avoir, sur le rythme de l'inflation, une incidence que les banques centrales ne peuvent plus négliger. Quant aux valorisations boursières, elle les a déjà bouleversées et va continuer de le faire (Graphique 1).

Graphique 1 – Valorisations boursières dans l'industrie automobile, 2012-2022 (en milliards de dollars)

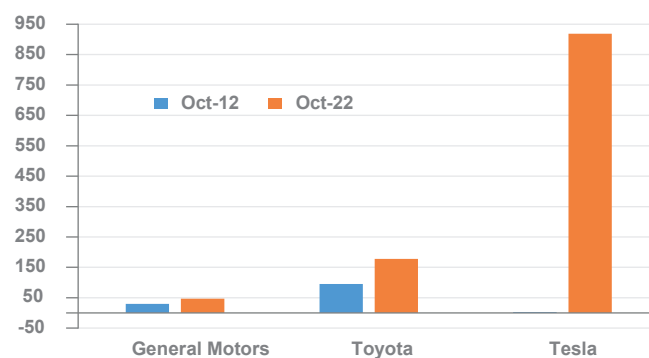


Tableau 1 – Objectifs climat à l'horizon 2030 : émissions en tonnes équivalent CO₂ par habitant et évolutions

	Émissions 1990	Émissions 2019	Taux de croissance annuel moyen 1990-2019	Objectifs émissions 2030	Taux de croissance annuel moyen correspondant 2019-2030
UE-27	11,1	7,5	- 1,3 %	4,6	- 4,3 %
France	9,2	6,4	- 1,3 %	3,4	- 5,5 %
Allemagne	16,0	9,4	- 1,8 %	6,8	- 2,9 %
Royaume-Uni	14,2	6,7	- 2,5 %	3,7	- 5,2 %
États-Unis	22,4	17,8	- 0,8 %	9,1	- 5,9 %

Source : les émissions sont comptabilisées en prenant en compte l'UTCATF et correspondent aux inventaires déposés par les États auprès du secrétariat du CCNUC. Les données relatives à la population (historique et projections) proviennent de l'OCDE. Les objectifs de réduction correspondent aux contributions déterminées au niveau national déposées auprès du secrétariat de l'ONU (pour la France et l'Allemagne, on retient ici la même évolution que pour l'UE, soit - 55 %).



La réflexion macroéconomique sur la transition est en retard

Or la réflexion macroéconomique sur les effets à court et à moyen terme de la transition climatique accuse un retard préoccupant dès lors que celle-ci risque de ne pas se faire sans perturber l'économie. À l'image de celles qui ont accompagné la Stratégie nationale bas carbone ou SNBC (Tableau 2), la plupart des évaluations quantitatives traitent de la transition principalement à partir de son impact sur l'investissement. Elles l'envisagent ainsi comme un choc de demande, alors qu'il s'agit d'une transformation complexe, qui combine des chocs (principalement positifs) sur la demande et des chocs (principalement négatifs) sur l'offre. Elles proposent en conséquence une lecture optimiste des effets de la transition et, surtout, elles laissent de côté des questions de premier rang comme l'impact sur la productivité au-delà des seuls effets des réallocations intersectorielles, ou l'ampleur des coûts de réallocation. Elles supposent en général que l'offre sera en mesure de répondre aux pressions de la demande et que les financements nécessaires seront disponibles à coût modéré. Elles supposent enfin, sauf exception, que les politiques économiques seront à tout moment optimales et étroitement coordonnées, ce qui n'est à l'évidence pas le cas.

Le problème n'est pas spécifique à la France. Nos équipes de modélisation ne souffrent pas de la comparaison avec leurs homologues européennes. Mais un peu partout, les mêmes causes ont produit les mêmes effets : pour beaucoup, les macroéconomistes ont tardé à se saisir d'un sujet qu'ils percevaient comme essentiel pour le long terme, mais assez secondaire à l'horizon de quelques années. Souvent aussi, les simulations ont été cadrées en sorte de produire des résultats favorables, afin de convaincre décideurs et opinions de ce que l'action climatique induirait des bénéfices économiques et sociaux.

Une correction est entamée, inégalement toutefois d'un pays à l'autre. Elle est nécessaire, car une appréhension réaliste et partagée des enjeux de la mutation qui nous attend est aujourd'hui indispensable. L'expérience de la

taxe carbone nous a appris combien il était hasardeux de minimiser l'ampleur des efforts que va exiger la transition et de négliger leurs conséquences distributives. La leçon vaut aussi pour ses incidences macroéconomiques.

LES MÉCANISMES ÉCONOMIQUES À L'ŒUVRE

Le réchauffement climatique est un phénomène d'échelle mondiale et comme tel, il constitue un défi immense pour l'action collective internationale, comme l'illustrent les débats en cours au sein de la COP 27. Les politiques climatiques auront des conséquences distributives aux niveaux mondial et intra-européen, elles redessineront certainement la carte des échanges de biens et de capitaux. Dans un premier temps, il est toutefois utile, pour clarifier les mécanismes économiques de la transition, de raisonner dans le cadre d'une économie isolée (qui peut s'appliquer à la France ou à l'Union européenne).

Trois mécanismes principaux

Techniquement, la transition vers la neutralité carbone – objectif à 2050 du Pacte vert comme de la future Stratégie française énergie climat (SFEC) – exige à la fois de remplacer très largement les énergies fossiles par des énergies décarbonées (principalement par l'électrification des usages et la décarbonation de la production électrique) et de réduire la consommation finale d'énergie, ce qui peut être obtenu soit en améliorant l'efficacité énergétique des équipements (afin qu'ils produisent autant ou rendent le même service en utilisant moins d'énergie), soit en réduisant la production ou les services rendus¹.

Économiquement, l'analyse conduit à une décomposition un peu différente des ressorts de la transition. Elle met en évidence trois mécanismes fondamentaux détaillés ci-dessous : la substitution de capital à des combustibles fossiles ; la réorientation du progrès technique vers les alternatives aux énergies fossiles et l'amélioration de l'efficacité énergétique ; et enfin la modération des usages et des consommations énergivores (sobriété).

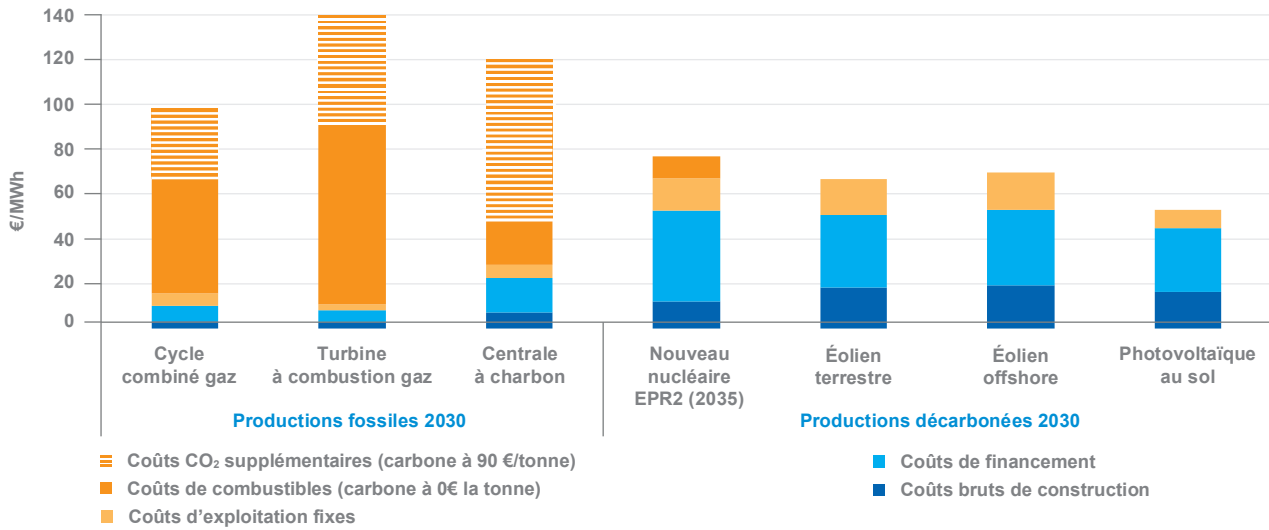
Tableau 2 – Incidences macroéconomiques anticipées de la Stratégie nationale bas carbone (SNBC 2)

	PIB 2030	Emploi 2030 (en milliers)	Pouvoir d'achat 2030	PIB 2050	Emploi 2050 (en milliers)	Pouvoir d'achat 2050
ThreeME	+ 2,5 %	+ 540	+ 2,9 %	+ 3,8 %	+ 880	+ 5,3 %
Imaclim	+ 0,7 %	+ 300	+ 1,8 %	+ 3,7 %	+ 700	+ 4,4 %

Source : ministère de la Transition écologique et solidaire (2020), *Stratégie nationale bas carbone. Rapport d'accompagnement*. Le tableau donne les écarts entre le scénario de référence avec mesures supplémentaires et une trajectoire tendancielle en l'absence de mesures supplémentaires après le 1^{er} juillet 2017.

1. Cette catégorisation s'intéresse aux émissions énergétiques, qui représentent la majorité des émissions de gaz à effet de serre. Il convient d'adapter le raisonnement pour les émissions « de procédés » (par exemple, le CO₂ issu de calcaire émis par les industries du ciment et de la chaux) ou pour les émissions agricoles de méthane et de protoxyde d'azote, qui résultent de processus biochimiques.

Graphique 2 – Coût complet de différentes technologies de production électrique



Source : ordres de grandeur fournis par RTE. Hypothèses : prix du gaz et du charbon du *World Energy Outlook 2022*, scénario *Stated Policies* : 29 €/MWh pour le gaz et 60 \$/t pour le charbon. Deux hypothèses pour le prix du carbone : nul (pour comparer les technologies) ou 90 €/tonne (projection pour 2030) ; taux d'actualisation 4 % ; facteurs de charge 25 % pour l'éolien terrestre, 40 % pour l'éolien offshore, 14 % pour le solaire, 80 % pour le nucléaire, 80 % pour le gaz et le charbon. Ces facteurs de charge peuvent varier selon la configuration du réseau, ceux des énergies renouvelables sont fonction des conditions météorologiques. À noter qu'avec un facteur de charge de 20 %, dans l'hypothèse où il ne sert que dans les périodes de pointe, le coût en capital (financement et construction) du cycle combiné gaz serait multiplié par quatre (40 €/MWh au lieu de 10 €/MWh).

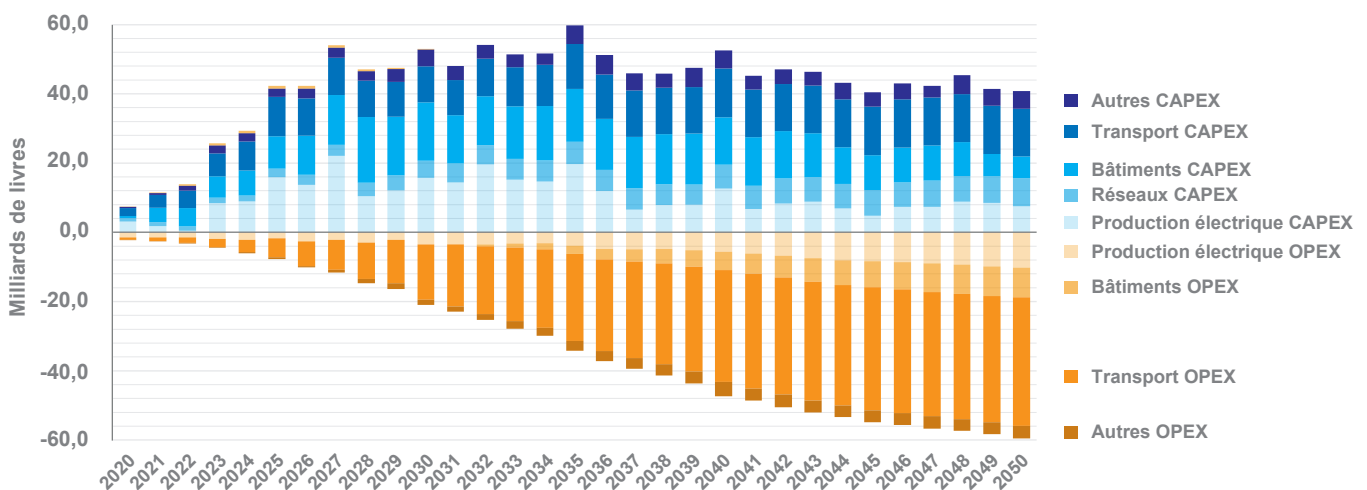
Substituer du capital à des énergies fossiles

Le point commun entre un barrage, une centrale nucléaire, un champ d'éoliennes et une ferme solaire, c'est de requérir un capital important, et de bénéficier en contrepartie d'un coût d'exploitation faible. Dans le cas des énergies renouvelables non pilotables – toutes sauf le nucléaire et l'hydraulique –, ce coût en capital est redoublé par la nécessité de disposer soit d'équipements de *backup* (de type centrales à gaz), soit à terme de technologies de stockage (hydrogène, batteries), et il est encore augmenté des coûts de réseau. Au total, la production

d'électricité « verte » est considérablement plus intensive en capital que la production d'électricité « brune » (Graphique 2).

La logique est la même pour le bâtiment (travaux d'isolation) ou les transports (construction d'infrastructures). Les travaux britanniques du Climate Change Committee (2020) l'illustrent bien², qui montrent comment la transition impliquera dans un premier temps des investissements importants avant de se traduire dans un deuxième temps par une économie sur les coûts d'exploitation (Graphique 3).

Graphique 3 – Investissements additionnels (CAPEX) et coûts d'exploitation (OPEX) dans le scénario *Balanced Pathway* du Climate Change Committee, 2020-2050



Note : CAPEX = *capital expenditures*/dépenses d'investissements ; OPEX = *operational expenditures*/coûts d'exploitation.

Source : CCC (2020), *The Sixth Carbon Budget*, op. cit, Figure 5.3., en livres sterling constantes de 2019

2. Climate Change Committee (2020), *The Sixth Carbon Budget: The UK's Path to Net Zero*, rapport, décembre, 448 pages.



Pour la France, le montant des investissements supplémentaires (publics et privés) nécessaires à l'atteinte des objectifs 2030 et 2050 a fait l'objet de plusieurs évaluations. Disparates en apparence, ces évaluations convergent

cependant vers un ordre de grandeur de 2,5 points de PIB d'investissements supplémentaires induits par la transition en 2030 (Encadré 1).

Encadré 1 – Combien d'investissements climat en France ?

Les investissements publics et privés nécessaires à la transition vers la neutralité carbone en France ont fait l'objet de différentes évaluations³, dont les résultats pour 2030 sont à première vue très disparates : de 22 milliards d'euros⁴ d'investissements climat supplémentaires pour l'Institut de l'économie pour le climat (I4CE) à 100 milliards dans l'estimation réalisée par l'Ademe et le CGDD (voir Tableau 3, page suivante).

Une première source d'écart tient à ce qui est mesuré : investissements bruts ou nets, directs ou indirects⁵, incluant les dépenses de biens durables des ménages ou non⁶, pour l'ensemble de l'économie ou pour certains secteurs seulement⁷ (voir Tableau 3).

La distinction conceptuellement importante est entre investissements bruts (parfois appelés investissements climat, ou verts) et investissements nets des réductions d'investissements fossiles (ou bruns) : les investissements nécessaires à la décarbonation (éoliennes ou véhicules électriques) viennent en effet en partie en remplacement d'investissements fossiles (centrales à charbon ou véhicules thermiques). S'il y a simplement réallocation d'investissements bruns vers des investissements verts, l'investissement total n'est pas augmenté.

Plusieurs facteurs peuvent néanmoins conduire à une hausse des investissements nets : la substitution de capital à des combustibles fossiles ; un prix du capital ou des équipements verts (véhicules électriques) plus élevé que celui des équipements bruns ; la mise au rebut prématurée de capital brun. En pratique, les différentes évaluations concernent toutes l'investissement net et seul I4CE présente également les montants d'investissements bruts (climat et fossiles).

Une autre source d'écart est la référence utilisée pour calculer le surcroît d'investissement : investissements supplémentaires par rapport à aujourd'hui (I4CE) ou par rapport aux investissements qui auraient eu lieu en 2030 dans un scénario contrefactuel sans transition. Cela tient en partie à la finalité de l'exercice : établissement d'une chronique des investissements climat et fossile (pour I4CE) ou bien évaluation des investissements supplémentaires liés à la transition, en écart à un scénario de référence poursuivant les tendances passées (pour les autres). La bonne approche pour estimer les effets de la transition est la seconde.

De façon un peu artificielle, compte tenu de l'incertitude, des calendriers différents de montée en charge des investissements peuvent également conduire à des écarts en 2030. Ainsi, dans les estimations de Rexecode, les investissements dans le secteur du transport augmentent fortement entre 2030 et 2035 (+ 14 milliards d'euros), avant de se stabiliser, alors qu'ils augmentent dès avant 2030 dans celles de Ademe-CGDD, ce qui contribue à un écart d'environ 15 milliards en 2030 entre les deux scénarios⁸. La question du calendrier optimal d'investissement n'en est pas moins une vraie question.

Enfin, les écarts viennent d'hypothèses différentes sur la façon dont la transition va se faire et sur les évolutions dans le scénario contrefactuel sans transition.

Au total, les besoins d'investissements nets supplémentaires liés à la transition, hors effet de bouclage, pour l'économie totale, et en intégrant les achats de biens durables des ménages, seraient de l'ordre de 2,5 points de PIB, soit 70 milliards d'euros en 2030 (euros constants de 2021)⁹.

3. Voir I4CE (2022), *Panorama des financements climat, édition 2022*, Paris, octobre, 36 pages ; Rexecode (2022), « Enjeux économiques de la décarbonation en France : une évaluation des investissements nécessaires », document de travail, n° 83, mai, 76 pages ; Ademe/CGDD (2022), « Évaluation macroéconomique de la Stratégie nationale bas carbone (SNBC2) avec le modèle ThreeME », document de travail, février, 64 pages ; et Quinet A. (2019), *La valeur de l'action pour le climat. Une valeur tutélaire du carbone pour évaluer les investissements et les politiques publiques*, France Stratégie, février, 188 pages. Toutes ces estimations se fondent sur la SNBC de 2020.
4. I4CE présente une fourchette de 13 à 30 milliards par an d'investissements climat supplémentaires en moyenne sur la période 2021-2030, selon les scénarios de transition. Les résultats repris ici correspondent à la SNBC.
5. L'estimation Ademe-CGDD intègre des effets « indirects » liés au bouclage macroéconomique, c'est-à-dire au fait que la transition modifie l'équilibre économique global, ce qui se répercute indirectement sur l'investissement.
6. Les achats de biens durables des ménages, qui font partie de la consommation en comptabilité nationale, sont inclus dans les investissements supplémentaires comptabilisés par I4CE et Rexecode, et ils sont isolés par Ademe-CGDD. Le surcroît d'achats de véhicules par les ménages représente près de la moitié des investissements directs (soit 35 milliards d'euros) dans les estimations Ademe en 2030, et environ 15 milliards au pic en 2035 dans Rexecode.
7. L'agriculture, l'industrie et les déchets sont exclus dans certaines estimations. Ces secteurs représentent 6 milliards d'euros sur 80 milliards en 2030 et 8 milliards sur 100 milliards en 2050 dans Rexecode. Quinet (2019) considère que le champ retenu représente les trois quarts des abattements à réaliser.
8. Certains résultats (I4CE, notamment) correspondent à la moyenne sur la période 2021-2030, plutôt qu'à la valeur en 2030, ce qui conduit à des chiffres plus bas compte tenu de la hausse des investissements sur la période.
9. Milieu de fourchette Rexecode, investissements directs Ademe-CGDD, et estimation Quinet (2019) étendue à tout le champ et intégrant des achats de biens durables des ménages à hauteur de 30 milliards d'euros. Compte tenu de leur finalité différente, les estimations d'I4CE n'ont pas été retenues pour cette comparaison.

Tableau 3 – Besoins d'investissements supplémentaires nécessaires à la transition énergétique, selon différentes évaluations

	I4CE 2022	Rexecode 2022	Ademe-CGDD 2022	Quinet 2019
Investissements supplémentaires en 2030	22 Mds en brut * - 15 Mds en net	58 à 80 Mds€ (2,1 à 2,9 points de PIB)	100 Mds€ dont 70 Mds€ directs (2,5 points de PIB)	1,2 point de PIB (30 Mds€)
Scénario de transition	SNBC de 2020	SNBC de 2020	SBNC de 2020	SNBC de 2020
Par rapport à	2021 pour le brut 2019 pour le net	Scénario tendanciel	Scénario tendanciel	Scénario tendanciel
Champ	Hors agriculture industrie, déchets **	Ensemble de l'économie	Ensemble de l'économie	Hors agriculture industrie, déchets ***
Définition	FBCF et consommation de biens durables des ménages	FBCF et consommation de biens durables des ménages	FBCF et consommation automobile des ménages	FBCF
Période	Moyenne 2021-2030 et 2021-2050	En 2030 et en 2050	En 2030 et en 2050	En 2030 et en 2050
Bruts ou nets	Bruts (invest. climat) et nets	Nets	Nets	Nets
Bouclage macro	Non	Non	Oui	Non

FBCF = Formation brute de capital fixe

* 22 milliards d'euros en brut par rapport à 2021 mais 39 milliards en brut par rapport à 2019, qui est un meilleur point de comparaison du fait des fortes augmentations de l'investissement en sortie de crise Covid en 2020 et 2021.

** Sont exclus : agriculture, industrie, traitement des déchets, utilisation des terres, ainsi que les matériaux de construction, le matériel roulant ferré, les infrastructures fluviales et maritimes, les bateaux motorisés.

*** Secteurs de la production et des usages d'énergie (hors agriculture, procédés industriels et déchets), ce qui correspond environ aux trois quarts des réductions totales de gaz à effet de serre.

Source : France Stratégie, d'après I4CE (2022), Rexecode (2022), Ademe/CGDD (2022) et Quinet A. (2019), *op. cit.*

Réorienter le progrès technique vers les alternatives aux énergies fossiles

Le deuxième mécanisme économique à l'œuvre implique lui aussi un investissement, mais immatériel : en recherche et développement. Une manière simple d'en comprendre le caractère est de raisonner dans un cadre à deux technologies, l'une « brune » et l'autre « verte ». Comme l'écrivent Aghion, Antonin et Bunel (2020), « l'innovation n'est pas spontanément verte, au contraire, les entreprises qui ont produit et innové dans le polluant dans le passé préfèrent continuer d'innover dans les technologies polluantes dans le futur¹⁰ », essentiellement pour des raisons de rentabilité. La réorientation du progrès technique vers l'innovation verte appelle donc

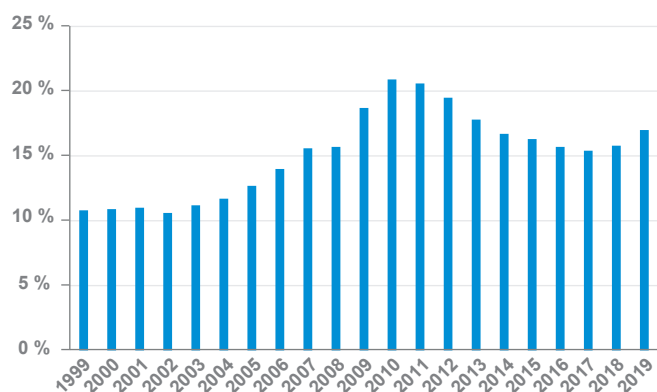
une intervention publique précoce, car le coût à changer de sentier sera d'autant plus élevé que l'économie aura continué à s'engager sur la voie de l'innovation brune.

Sortir de cette dépendance au sentier nécessite en effet un investissement qui est coûteux à court terme, même s'il peut s'avérer collectivement bénéfique à long terme. Comme le montre le Graphique 4 page suivante, l'orientation de l'effort de recherche et développement des entreprises dépend effectivement des politiques publiques. La part des brevets « climat » s'est nettement accrue dans les années 2000, elle a baissé après l'échec de la conférence de Copenhague fin 2009 et réaugmenté après l'accord de Paris en 2015.

10. Aghion P., Antonin C. et Bunel S. (2020), *Le Pouvoir de la création destructrice*, Paris, Odile Jacob, p. 238.



Graphique 4 – Part des brevets relatifs à la réduction ou à la capture des émissions dans l'ensemble des brevets triadiques déposés par les entreprises de l'OCDE, 1999-2019



Note : brevets de catégorie Y02. Les brevets triadiques sont déposés à la fois aux États-Unis, en Europe et au Japon.

Source : OCDE

Encadré 2 – D'où vient la sobriété ?

La sobriété recouvre un ensemble de comportements qu'il est utile de regrouper en grandes catégories¹², afin d'examiner leurs déterminants.

- La sobriété « structurelle » consiste à organiser l'espace et nos activités de façon à limiter les distances à parcourir pour accéder au travail, aux commerces, etc., et donc à réduire la demande de mobilité des ménages. Elle s'interprète a priori comme un changement de préférences induit par le nouvel aménagement des espaces. Le télétravail en a offert un exemple récent. Pour le reste, elle ne joue qu'à long terme.
- La sobriété « dimensionnelle » vise un bon dimensionnement des équipements par rapport aux usages, par exemple l'utilisation de véhicules adaptés en poids, volume et puissance aux déplacements de proximité. Ce changement de nature des biens durables acquis par les ménages peut être suscité par une modification de l'offre (développement de véhicules intermédiaires, par exemple), par des réglementations (sur le poids des véhicules) ou par des changements de préférence (les SUV ne seraient plus utilisés pour les déplacements du quotidien).
- La sobriété « d'usage » porte sur une modification de l'utilisation des équipements, afin de réduire la consommation d'énergie, en éteignant les appareils en veille, en limitant la vitesse sur la route ou encore en allongeant la durée de vie des équipements. Ces trois exemples renvoient en fait à des déterminants

Modérer les usages et consommations énergivores

Alors que les deux premiers mécanismes – substitution de capital aux énergies fossiles et progrès technique vert – concernent l'offre, le troisième est centré sur les modifications de la demande, et plus précisément sur les changements de comportements des consommateurs. Comme l'écrit l'Ademe, la sobriété « regroupe des réalités multiples à travers des démarches de frugalité, simplicité, zéro-gaspillage, efficacité, sobriété énergétique, ou encore de déconsommation », dont « le dénominateur commun est la recherche de modération dans la production et la consommation de produits, de matières, ou d'énergie¹¹ ». Ces changements de comportement peuvent résulter d'une mutation des préférences individuelles, d'une évolution des normes sociales et de contraintes imposées par les politiques publiques (Encadré 2).

assez différents. Éteindre des appareils en veille peut être le résultat d'un changement de préférences, du fait de normes sociales nouvelles ou d'une meilleure information (le gaspillage était inconscient)¹³. La limitation de la vitesse sur la route résulte le plus souvent de la réglementation, mais également du prix des carburants. L'allongement de la durée de vie des équipements s'assimile à une réduction du taux de dépréciation des biens durables, qui peut résulter d'une prise de conscience que les biens peuvent durer plus longtemps ou d'un changement de normes sociales.

- Enfin la sobriété « coopérative » repose sur la mutualisation des équipements et de leur utilisation (autopartage, buanderies collectives, cohabitation dans les logements ou les espaces de travail). Elle provient soit de changements de préférences et de modes d'organisation (développement de l'offre de partage), soit de contraintes pécuniaires.

Ces quelques exemples illustrent le fait que si la sobriété peut résulter de réglementations contraignantes ou d'une réponse à un signal-prix, elle peut aussi provenir d'un changement exogène de préférences, qui peut être lié à une meilleure information, à la prise de conscience des possibilités d'économies ou à de nouvelles normes sociales. Elle est en outre en partie liée à des changements dans l'offre de biens (mieux dimensionnés) ou de services (partage) ou dans l'organisation sociale (notamment de l'espace).

11. Ademe (2019), *Panorama sur la notion de sobriété*, synthèse, novembre, 10 pages, ici p. 9.

12. On reprend ici la typologie proposée par Negawatt, qui ajoute une cinquième dimension, la sobriété numérique. Celle-ci n'est pas reprise ici, car elle n'apporte pas d'élément supplémentaire à l'analyse.

13. Si la réduction du gaspillage vient d'une innovation technologique (extinction automatique des veilleuses, thermostats connectés permettant de réduire la température en cas d'absence), il s'agit d'efficacité énergétique et non de sobriété.

Quelle combinaison entre ces trois mécanismes ?

Pour atteindre la neutralité carbone en 2050, plusieurs stratégies sont possibles, qui diffèrent par les contributions relatives de ces trois mécanismes fondamentaux à différents horizons. À l'horizon 2030, le progrès technique est largement donné et le choix porte essentiellement sur les parts relatives de la substitution du capital aux combustibles fossiles et de la modification des comportements ; à l'horizon 2050, il est plus ouvert, car des efforts d'orientation du progrès technique peuvent porter leurs fruits à échéance de trente ans ; c'est encore plus vrai à très long terme.

L'existence d'une contrainte terminale conduit à des choix tranchés. Investir en capital matériel plutôt qu'en recherche et développement est nécessaire si l'on veut atteindre les objectifs fixés pour 2030, mais oblige à avoir recours aux technologies d'aujourd'hui, moins productives que celles qui devraient résulter d'un effort plus important en soutien de l'innovation verte. À l'inverse, privilégier l'investissement en R & D conduira nécessairement à mettre au rebut d'ici 2050 des équipements non encore amortis, et donc à subir une perte en capital. L'arbitrage entre ces exigences est au cœur de la définition d'une stratégie efficace.

LES INCIDENCES ÉCONOMIQUES DE LA TRANSITION

Risques de transition et risques physiques

L'incidence anticipée de la transition climatique varie sensiblement selon les objectifs visés, le scénario contrefactuel auquel on se réfère pour l'évaluer, le champ géographique auquel on s'intéresse et l'horizon auquel on raisonne.

L'analyse du coût potentiel des dommages induits par l'inaction climatique a sensiblement progressé ces dernières années. Les scientifiques ont mis en évidence la très grande disparité géographique des effets du réchauffement climatique, ses forts effets sur la fréquence des événements extrêmes et l'importance des risques d'irréversibilité (*tipping points*). Ont également été soulignées les corrélations avec d'autres risques environnementaux (dégradation de la biodiversité), sanitaires (pandémies) ou démographiques (réfugiés climatiques).

Ces risques doivent évidemment être pris en compte par les économistes. Le Network for Greening the Financial System oppose ainsi risques physiques et risques de transition¹⁴. Les premiers, qui résultent de la hausse des températures et de l'augmentation de la fréquence des événements extrêmes, ont un caractère et donc un coût économique permanent ; les seconds, induits par l'action climatique, sont en revanche principalement associés au passage d'un régime à un autre. Pour inverser la hiérarchie de ces risques, il faudrait supposer une très forte préférence pour le présent (un taux d'actualisation très élevé). D'un strict point de vue économique, il n'y a donc pas de place au doute quant à la nécessité d'une action rapide et vigoureuse.

Dans une période marquée par la déliquescence du système multilatéral, l'Europe et la France ont fait le choix d'affirmer leur leadership en matière d'action climatique. C'est à la fois une prise de responsabilité dans l'organisation de l'action collective internationale, un moyen d'assurer l'indépendance énergétique et l'expression d'une ambition sociétale et industrielle. Il n'en reste pas moins que risques physiques et risques de transition ne sont qu'en partie substituables : si l'action collective vise précisément à contenir les premiers, elle ne dispense pas d'agir aussi en réponse aux seconds. Investissements dans l'action climatique et investissements d'adaptation devront être menés de front.

La présente note ne traite que des conséquences économiques de l'action climatique en France et dans l'Union européenne, sous l'hypothèse que les politiques en place dans le reste du monde sont effectivement mises en œuvre et en écart à un scénario hypothétique sans mesures, mais sans matérialisation des risques physiques. Ce n'est évidemment qu'une étape analytique, la réflexion complète devra intégrer les deux dimensions.

Un choc d'offre

L'incidence économique de la transition varie selon le contexte dans lequel on se place pour l'évaluer. Si beaucoup d'évaluations sont positives en termes d'activité et d'emploi, c'est essentiellement à cause de l'effet demande des investissements. En bonne logique keynésienne, ceux-ci stimulent la croissance et accroissent la demande de travail des entreprises. Dans ce cadre, la vigueur de la réponse de l'économie dépend bien évidemment de la marge de capacités inemployées, laquelle affecte la réponse de politique monétaire et l'ampleur des fuites vers l'extérieur.

14. Le NGFS – en français « réseau pour le verdissement du système financier » – est le réseau spécialisé des banques centrales et des superviseurs financiers. Voir NGFS (2022), *NGFS climate scenarios for central bankers and supervisors*, septembre, 48 pages.



Du côté de l'offre en revanche, les implications macroéconomiques de la décarbonation sont *a priori* négatives. Conceptuellement, celle-ci revient en effet principalement à mettre un prix (explicite ou implicite) sur une ressource (un climat stable) qui était auparavant disponible à coût nul. Quelles que soient ses modalités (taxation du carbone, réglementation, incitations), l'impact est peu ou prou le même. Ne pas le prendre en compte, c'est ignorer que décarboner revient fondamentalement à un choc d'offre avec, dans un premier temps au moins, des conséquences négatives sur la consommation, la productivité du travail et l'output potentiel.

Il suffit pour le vérifier de se placer au plein emploi (ou, pour être précis, de supposer que le taux de chômage est à son niveau structurel) et de raisonner en équilibre partiel, à taux d'investissement inchangé. En vue de décarboner l'économie, une part de l'investissement qui allait à l'extension des capacités de production ou à l'amélioration de la productivité du travail va devoir être consacrée à la recherche de l'efficacité énergétique, à la substitution d'énergies renouvelables à des énergies fossiles, ou au remplacement du capital prématurément déclassé. Toutes choses égales par ailleurs, l'impact sur le PIB potentiel ne pourra être que négatif.

Que se passera-t-il si l'investissement (matériel ou immatériel) augmente ? Se combineront en ce cas un choc d'offre négatif et un choc de demande positif. Plusieurs effets peuvent en être attendus :

- une demande plus forte va devoir être satisfaite par une offre réduite. C'est typiquement une configuration inflationniste ;
- dans l'hypothèse où les principaux pays du monde conduiraient cet effort simultanément, l'accroissement *ex ante* de l'investissement devrait être financé par un supplément d'épargne. En résulteraient deux conséquences : une consommation amoindrie et une hausse du taux d'intérêt d'équilibre mondial (qu'il est convenu d'appeler r^*) ;
- si l'Europe est la seule à conduire cet effort, l'investissement pourra être financé en partie par appel à l'épargne du reste du monde. Il faudra pour cela que l'excédent extérieur se dégrade, et donc que le taux de change s'apprécie. La compétitivité européenne s'en trouvera affaiblie.

Il s'agit ici de cas stylisés. Dans la réalité, bien entendu, plusieurs mécanismes se combineront. Mais pour simplifiés qu'ils soient, ces cas permettent de mettre en lumière les enchaînements que mobilisera probablement la transition.

Un impact incertain sur la productivité

Déterminer quel sera l'impact de la transition sur la productivité (productivité du travail et productivité globale des facteurs) est à la fois particulièrement important et particulièrement incertain.

Une première approche est celle de Jean-Marc Jancovici¹⁵. Celui-ci se place dans un cadre où, hormis le nucléaire, il y a peu d'alternatives aux énergies fossiles. Le coût en productivité d'une renonciation à ces énergies est donc extrêmement élevé et surtout, il a un caractère permanent.

Une deuxième approche raisonne par analogie avec l'analyse qui vient d'être faite : à effort global de R & D donné, la part qui va aujourd'hui à l'amélioration de la productivité globale des facteurs ne pourra être que réduite par la réorientation du progrès technique vers l'objectif de réduction des émissions. Il y aura donc, temporairement au moins, ralentissement de la croissance. C'est le raisonnement de Henriët, Maggiar et Schubert (2014)¹⁶.

Enfin une troisième approche, complémentaire de la précédente, est celle de Philippe Aghion et de ses coauteurs. Comme on l'a déjà relevé, l'idée sous-jacente est que les effets déjà acquis du progrès technique dans l'utilisation des combustibles fossiles ont détourné les efforts d'innovation de pistes en fait plus prometteuses. En ce cas, le ralentissement de la productivité globale des facteurs lié à la réorientation du progrès technique vers les technologies vertes ne serait que temporaire. À une première phase inévitablement défavorable (parce qu'il faut investir pour changer de trajectoire) pourrait même succéder une phase d'accélération de la productivité, dans laquelle les effets d'apprentissage (*learning by doing*) pourront jouer à plein.

Qualitativement, la baisse continue du coût des renouvelables comme celle du coût des batteries semblent conforter la troisième approche. Il est cependant difficile, à ce stade, de formuler une conclusion certaine, encore moins une estimation quantifiée.

15. Voir par exemple « [L'énergie, de quoi s'agit-il exactement ?](#) », sur le blog de Jean-Marc Jancovici (article mis en ligne le 1^{er} août 2011).

16. Henriët F., Maggiar N. et Schubert K. (2014), « [A stylized applied energy-economy model for France](#) », Banque de France Working Paper, n° 478, mars, 44 pages. Raisonnement repris par Hassler J., Krusell P. et Olovsson C. (2021), « [Directed technical change as a response to natural resource scarcity](#) », *Journal of Political Economy*, vol. 129(11), novembre, p. 3030-3072.

Des effets ambigus de la sobriété sur la croissance et le bien-être

Les implications de la sobriété sur la croissance, la consommation et le bien-être font débat. Pour certains, elles sont synonymes de décroissance, à tout le moins de réduction de la consommation et potentiellement de pertes de bien-être. Pour d'autres, la sobriété peut être sans effet sur la consommation, voire accroître le bien-être. Analyser ses conséquences économiques requiert beaucoup de précision, car tout dépend de son origine et des canaux par lesquels elle agit.

D'un point de vue économique, la sobriété peut être définie, dans le cadre de la transition énergétique, comme une réduction de la consommation d'énergie qui ne résulte pas de changements dans les processus de production, mais provient de changements dans la demande (Encadré 2)¹⁷.

Pour analyser ses effets économiques, il est nécessaire de préciser le cadre dans lequel on raisonne. Prenons pour fixer les idées des ménages qui consomment des biens et services non énergivores et des services (de transport, de mobilité, etc.) rendus par des biens durables (voiture, chaudière, réfrigérateur, etc.) qui consomment de l'énergie¹⁸. Ces ménages peuvent aussi valoriser le temps libre (loisirs).

Les exemples présentés dans l'encadré 2 peuvent alors être ramenés à deux situations :

- soit les services de mobilité et de chauffage rendus par les biens durables utilisant de l'énergie demeurent inchangés, par exemple si les appareils en veille sont éteints, si les véhicules sont mieux dimensionnés aux usages, etc. C'est alors la « fonction de production » de ces services qui requiert moins d'énergie ;
- soit il y a baisse (ou modification) de la demande de services rendus par les biens durables, par exemple parce que des villes plus denses nécessitent moins de déplacements, que la vitesse sur route est réduite ou les équipements sont partagés.

Dans le premier cas, l'utilité du consommateur n'est pas affectée par la baisse de consommation d'énergie (puisque les services rendus par les biens durables sont les mêmes). Les économies dégagées sur les dépenses d'énergie permettent même une hausse de la consommation de biens

et services courants, ou un accroissement du loisir¹⁹. L'effet net sur la consommation est donc positif (son ampleur dépend du degré de substituabilité entre biens courants et services rendus par l'énergie et de la préférence pour le loisir). L'effet final sur le bien-être, mesuré par l'utilité du consommateur, est lui aussi positif : pas de réduction des services rendus par l'énergie, hausse de la consommation courante ou des loisirs.

Dans le second cas, l'effet immédiat sur l'utilité de la réduction de la demande de services rendus par les biens durables est négatif. Les effets sur la consommation sont en revanche ambigus car la baisse de la consommation d'énergie permet une hausse de la consommation de biens et services courants, mais peut aussi être reportée sur le loisir (en particulier si la baisse de la consommation d'énergie résulte d'une contrainte). L'effet sur le bien-être peut être positif si la hausse de consommation courante ou de loisir fait plus que compenser la désutilité de la baisse de services, ou négatif dans le cas inverse.

Cette analyse simplifiée illustre d'abord que la sobriété peut s'analyser dans le cadre microéconomique habituel, à condition que celui-ci soit adapté. Elle montre également que ses effets sur la consommation peuvent être positifs ou négatifs, que la sobriété soit spontanée (modification des préférences) ou contrainte. Elle confirme enfin que ses effets sur le bien-être peuvent être positifs.

Une forte réallocation du capital et de la main-d'œuvre, pouvant entraîner des pertes supplémentaires de potentiel économique

Jusqu'ici nous avons raisonné dans le cadre simplifié d'une économie à un seul secteur, avec donc une seule catégorie de travail comme de capital, et en ignorant la dimension spatiale. En réalité, il faut évidemment tenir compte de ce que la transition vers une économie décarbonée – comme hier la transition d'une économie agricole à une économie industrielle, puis à une économie de services – va induire de fortes réallocations entre secteurs, entre entreprises et entre qualifications, avec nécessairement des conséquences territoriales marquées.

Il est difficile de surestimer l'ampleur de cette mutation. Contrairement aux révolutions industrielles du passé, dont l'origine était localisée dans la sphère productive, la transition

17. On se concentre ici sur la sobriété vue du côté des ménages. Dans la littérature, la sobriété renvoie plus largement à l'idée de complémentarité entre ressources naturelles et autres ressources, qui suppose une modification collective des modes de vie et requiert un certain degré d'altruisme. Elle concerne ainsi également l'offre (biens non surdimensionnés, réduction des publicités, etc.) : voir Jungell-Michelsson J. et Heikkurinen P. (2022), « Sufficiency : a systematic literature review », *Ecological Economics*, vol. 195, mai.

18. Henriot et al. (2014), « A stylized applied energy-economy model for France », *op. cit.*

19. En termes techniques, elles détendent la contrainte de budget.



touche ou va toucher directement et simultanément la production énergétique, l'industrie, l'agriculture, l'habitat, les transports, les modes de vie et la consommation. Dans chacun de ces domaines, elle va occasionner des pertes de capital ou une dévalorisation de certaines compétences en même temps qu'elle va créer des opportunités d'innovations et d'investissements.

Ces coûts de réallocation ne se confondent pas avec les pertes de potentiel économique qui viennent d'être analysées. Elles peuvent en revanche les amplifier. Plus la transition sera précipitée, moins elle sera anticipée, et plus elle se traduira par la dévalorisation brutale d'équipements, de capital intangible et de capital humain²⁰.

La réalité de ce phénomène est d'ores et déjà perceptible. Elle se manifeste par la perte de valeur des logements les plus mal isolés, par des menaces de fermeture de fonderies, par la chute des actions des entreprises de l'économie à forte intensité carbone ou par la dévalorisation de compétences récemment encore très recherchées.

À titre d'exemple, une étude récente sur l'industrie automobile allemande²¹ recense 447 000 emplois directement liés à la fabrication de moteurs thermiques et 166 000 emplois dans la production de produits complémentaires (carburant diesel, boîtes de vitesse, etc.). Au total, dans la seule branche automobile, plusieurs centaines de milliers d'emplois sont donc susceptibles d'être affectés par le passage à l'électrique. Bien entendu, des emplois seront aussi créés. Mais outre qu'ils seront très probablement moins nombreux, leur localisation et les qualifications qu'ils requerront ne seront pas les mêmes. L'impact sur l'emploi et sur l'output potentiel dépendront donc de la qualité du processus de réallocation des facteurs de production entre métiers, entreprises et régions.

En allongeant l'horizon des acteurs privés par la planification des initiatives publiques, en soutenant l'adaptation des entreprises et en renforçant les dispositifs d'appui aux transitions professionnelles, les politiques publiques ont la capacité de réduire substantiellement les coûts de réallocation.

Des risques pour les finances publiques

Aussi longtemps que la transition était supposée être pilotée par une taxe carbone, l'inquiétude pour les finances publiques était limitée. Le débat portait plutôt sur le point de savoir quel usage faire de la recette qu'allait procurer

cette taxation : allait-elle financer une baisse des prélèvements sur le travail (dans l'optique du « double dividende »), des investissements dans la transition ou un transfert aux ménages destiné à contrer son effet régressif ?

Un recours généralisé à la fiscalité du carbone apparaît aujourd'hui peu probable, en dehors de l'extension prévue des marchés européens de quotas. En France, le taux de la contribution climat énergie est gelé depuis 2018. En Europe, les revenus tirés du mécanisme EU-ETS ont progressé parallèlement à la hausse du prix du carbone sur ce marché, et devraient augmenter encore avec la création d'un ETS 2 pour les secteurs du transport routier et du bâtiment, mais ils n'ont représenté que 24 milliards de dollars en 2021²². Dans le monde, selon la même source, la totalité des recettes procurées par les mécanismes de prix du carbone s'est élevée à 57 milliards de dollars en 2021... contre 450 milliards de subventions directes aux énergies fossiles. Enfin l'Inflation Reduction Act adopté en août 2022 aux États-Unis écarte complètement la fiscalité carbone au profit de dépenses directes et de subventions.

À court et moyen terme, l'impact de la transition sur les finances publiques a donc toute chance d'être négatif. Il devrait passer par trois canaux :

- le coût direct de l'investissement public (rénovation thermique des bâtiments publics, infrastructures, recherche et développement) ;
- la prise en charge partielle ou totale par les finances publiques des coûts en capital de la mise à niveau des équipements des agents insuffisamment solvables pour avoir accès au crédit (ménages, PME, associations) ;
- les effets indirects sur les recettes et les dépenses induits par la variation du PIB.

Simultanément et surtout à plus long terme, la neutralité climatique imposera une réforme substantielle de la fiscalité. Elle se traduira en effet à la fois par une perte de recettes (du fait de l'attrition des assiettes liées aux énergies) et une baisse de dépenses (toutes les subventions aux énergies fossiles). Quel que soit l'usage qui aura été fait de la taxe carbone dans le pilotage de la transition, il faudra qu'à terme la structure des prélèvements et des subventions s'aligne sur les préférences collectives, en sorte que le système de prix reflète durablement les dommages induits par les émissions de gaz à effet de serre.

20. C'est ce qu'illustre le scénario de *delayed transition* du NGFS.

21. Falck O., Czernich N. et Koenen J. (2021), *Auswirkungen der vermehrten Produktion elektrisch betriebener Pkw auf die Beschäftigung in Deutschland*, Institut IFO, étude pour l'Association allemande de l'industrie automobile (VDA), mai.

22. Postic S. et Fetet M. (2021), « *Les comptes mondiaux du carbone en 2021* », Institut de l'économie pour le climat (I4CE), octobre, 6 pages.

Le coût d'une crédibilité mal assurée

Les politiques de transition climatique doivent concilier deux objectifs apparemment antinomiques : elles doivent être graduelles, en raison des coûts d'ajustement qui viennent d'être analysés, mais elles doivent aussi être crédibles pour assurer que l'investissement (matériel et immatériel) est orienté en fonction de l'objectif de long terme. Ce dilemme n'est pas fondamentalement différent de celui auquel sont confrontées les banques centrales. Mais là où celles-ci raisonnent en trimestres, il s'agit en l'espèce d'années ou de décennies.

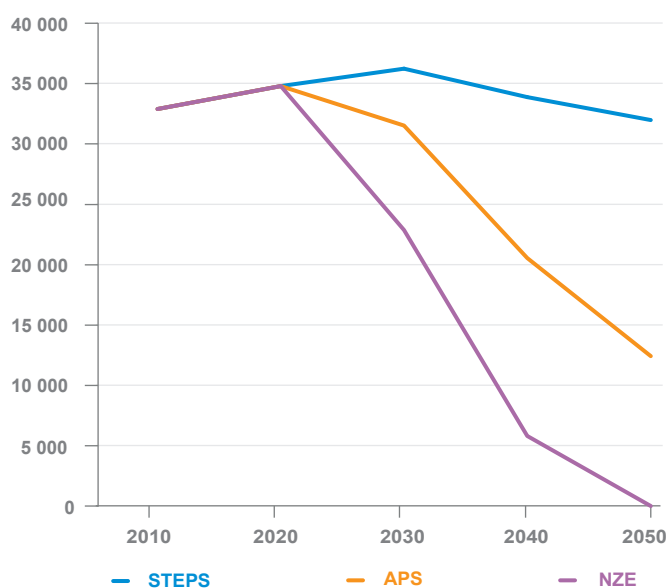
En même temps qu'ils visent à surmonter les problèmes d'action collective, les accords internationaux visent à répondre à ce défi. Cependant, si l'accord de Paris en 2015 a effectivement conduit nombre d'investisseurs et d'industriels à s'engager dans la transition climatique, c'est encore loin d'être généralement le cas. Comme le montre la comparaison des scénarios de l'Agence internationale de l'énergie (Graphique 5), la crédibilité des objectifs climatiques demeure très partielle.

La conséquence d'une crédibilité imparfaite se mesure dans les investissements. Comme l'ont montré Fried, Novan et Peterman (2021), une politique incertaine a pour conséquence de rendre plus risqués à la fois les investissements « verts » et les investissements « bruns »²³. L'entreprise y répond en restreignant ses investissements de l'une et l'autre catégorie. Le résultat est que la transition est insuffisamment rapide et inutilement coûteuse.

Ces effets s'observent directement sur l'investissement énergétique. Selon l'Agence internationale de l'énergie²⁴, l'investissement fossile mondial se serait dès 2021 ajusté à une perspective de forte baisse de la demande d'ici 2030, mais l'investissement vert serait encore très inférieur aux niveaux 2030 requis par l'ensemble des scénarios (Graphique 6, page suivante). En conséquence, l'investissement énergétique global serait plus de deux fois inférieur au niveau requis pour 2030, ce qui contribue au niveau élevé des prix des énergies.

Le FMI (2022) a examiné les conséquences macroéconomiques d'une crédibilité mal assurée en simulant le coût de la transition dans le cadre d'un modèle où celle-ci est pilotée par une taxation du carbone²⁵. Sont comparés un scénario où la trajectoire de prix est annoncée et crédible et un scénario où les agents privés anticipent à chaque période

Graphique 5 – Trois scénarios d'évolution des émissions mondiales en millions de tonnes de CO_{2eq}



Note : le graphique compare trois scénarios correspondant respectivement aux politiques en place (STEPS), aux engagements notifiés dans le cadre de l'accord de Paris (APS) et aux efforts requis en vue d'atteindre la neutralité carbone en 2050 (NZE).

Source : AIE (2022), *World Energy Outlook 2022*

le maintien du prix au niveau déjà atteint. L'impact sur les émissions en est réduit de 20 % – ou, de manière équivalente, le coût macroéconomique mesuré par la baisse du PIB d'une même réduction des émissions est doublé.

La question de la « greenflation »

Dans un contexte de très faible hausse des prix, les éventuelles conséquences inflationnistes de la transition ont longtemps été tenues pour négligeables. Le réveil, au début de l'année 2022, a été d'autant plus brutal et il a ravivé les débats sur la *greenflation*.

Qualitativement, il n'y a guère de doutes. La transition a certainement un caractère inflationniste, pour plusieurs raisons :

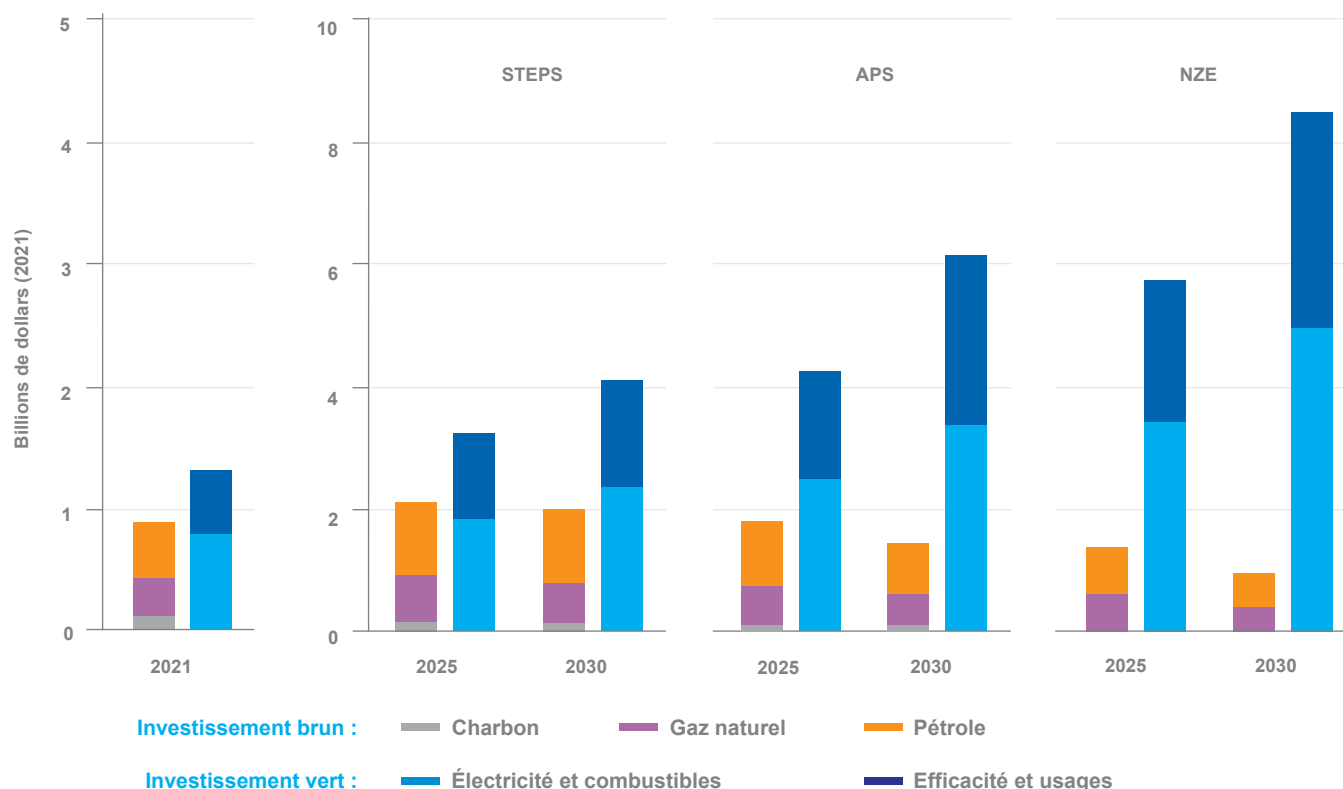
- parce qu'elle déplace vers la gauche la courbe d'offre agrégée (en raison de son impact sur la production potentielle) et vers la droite la courbe de demande agrégée (en raison de l'investissement qu'elle implique), la substitution de capital à des énergies fossiles induit par nature un choc inflationniste. Celui-ci sera d'autant plus fort que la transition sera rapide ;

23. Fried S., Novan K. M. et Peterman W. (2021), « *The macro effects of climate policy uncertainty* », FEDS Working Paper, n° 2021-018, Board of Governors of the Federal Reserve System, février, 50 pages.

24. AIE (2022), *World Energy Outlook 2022*, IAE Publications, octobre, 524 pages.

25. Arnold N. et al. (2022), « *Reforming the EU fiscal framework. Strengthening the fiscal rules and institutions* », Departmental Papers, n° 2022-14, Fonds monétaire international, septembre, 47 pages.

Graphique 6 – Investissement énergétique mondial « brun » et « vert », 2021-2025-2030



Note : le graphique compare trois scénarios correspondant aux politiques en place (STEPS), aux engagements notifiés dans le cadre de l'accord de Paris (APS) et aux efforts requis en vue d'atteindre la neutralité carbone en 2050 (NZE).

Source : AIE (2022), *World Energy Outlook 2022*

- dans la mesure où elle procède par une hausse de la fiscalité carbone, et même si elle emprunte parallèlement d'autres voies de type réglementaire, la politique publique contribue à ce choc ;
- au niveau global, le verdissement de l'économie implique une repentification de l'offre mondiale d'énergie. La révolution du pétrole et du gaz de schiste américains s'est traduite par un aplatissement de la courbe d'offre mondiale qui a sensiblement contribué à la « grande modération » du début des années 2000²⁶. Sans attendre le *peak oil* et l'épuisement à venir des ressources en combustibles fossiles, le retrait anticipé de cette offre très élastique se traduit mécaniquement par une plus grande volatilité du prix des énergies primaires ;
- les tensions sur l'offre de métaux rares (lithium, cobalt) vont peser sur les coûts de production des énergies renouvelables et des véhicules électriques ;
- comme cela a été noté, la faible crédibilité des politiques climatiques se traduit enfin par une hésitation à investir et donc par une contrainte plus serrée sur l'offre mondiale d'énergie.

Théoriquement, ces effets pourraient être contrés par le « paradoxe vert » mis en lumière par Hans-Werner Sinn²⁷ : face à la perspective de dévalorisation quasi totale de leurs réserves fossiles, les pays producteurs devraient accroître le rythme de leur extraction et mettre leurs combustibles sur le marché à un prix réduit. Il en résulterait un contrechoc potentiellement massif sur le prix des énergies fossiles. Force est cependant de constater que cela ne s'est pas encore produit. Ce n'est d'ailleurs pas souhaitable, car cela accélérerait le réchauffement.

L'enjeu est donc essentiellement quantitatif : ce qui fait question, ce sont moins les mécanismes d'une éventuelle *greenflation* que les ordres de grandeur associés.

26. Voir Schnabel I. (2022), « Monetary policy and the Great Volatility », discours au Jackson Hole Economic Policy Symposium, Wyoming, Jackson Hole, 27 août.

27. Sinn H.-W. (2015), « The Green Paradox: a supply-side view of the climate problem », *CESifo Working Paper*, n° 5385, juin, 15 pages.

LES CONDITIONS DU SUCCÈS

Une grande transformation

La transition implique évidemment une grande transformation, analogue par son ampleur aux révolutions industrielles du passé, que l'urgence commande de mener à un rythme accéléré. Ce que nous avons appris au fil du temps suggère cependant qu'elle est réalisable à un coût relativement modéré²⁸. Depuis dix ans, la chute du coût des diverses alternatives aux énergies fossiles (éolien, solaire) et des dispositifs de stockage (batteries) a été remarquablement forte. La réorientation de l'industrie automobile est spectaculaire, et elle est encouragée par une forte demande pour les véhicules électriques. De manière moins visible, un nombre croissant d'autres secteurs réinventent leur modèle. Il est permis de voir dans l'amplitude de ces progrès la manifestation d'un mécanisme générique de stimulation et d'orientation du progrès technique.

Parallèlement, les comportements ont commencé à changer : l'usage du vélo est en progrès, la consommation de viande rouge en baisse. Encore très limitées, ces transformations laissent attendre une contribution de la sobriété peut-être plus significative qu'il n'était attendu.

La confrontation avec la Russie souligne enfin la nécessité de mettre fin à la dépendance de l'Europe à l'égard des combustibles fossiles importés. À plusieurs égards, le choc de 2022 a été plus violent que ceux que nous avons subis dans les années 1970. Non seulement la dégradation des termes de l'échange a été massive, mais l'arrêt des livraisons russes menace directement les pays et les secteurs les plus vulnérables, et met en relief l'absence d'alternatives aisément accessibles. Si Vladimir Poutine a pu prendre la prospérité européenne en otage, c'est que l'Europe lui en avait ingénument offert la possibilité.

Dans le très court terme, la conséquence de ce choc est inévitablement un report de la demande vers d'autres producteurs d'énergie fossile en dehors de Russie, éventuellement accompagné d'un rebond du contenu en carbone de l'activité économique. À assez brève échéance, en revanche, il est probable qu'il accélère le virage vers les renouvelables sous le double effet de la hausse de leur prix et, en Europe, du risque géopolitique. Cette crise

induit en effet un alignement entre objectifs climatiques, enjeux d'indépendance énergétique et nécessités géopolitiques. L'AIE (2022) anticipe ainsi une substitution accélérée des renouvelables aux fossiles au cours de la décennie à venir²⁹.

S'engager de façon crédible

La planification écologique figure désormais au premier rang des priorités affichées par le gouvernement. Si cet engagement répond aux attentes d'une opinion de plus en plus inquiète du changement, le scepticisme reste cependant très vif quant à sa réalité : en octobre, les Français n'étaient que 39 % à anticiper que leur pays réussira à atteindre son objectif de réduction des émissions pour 2030³⁰. La crédibilité de notre politique climatique est faible.

Ce scepticisme n'est pas sans motifs : le Haut Conseil pour le climat (2022) juge qu'en dépit des progrès, la réponse de la France au réchauffement climatique reste insuffisante et que persistent des « risques majeurs » de ne pas atteindre les objectifs que la France s'est donnés³¹ ; en 2013 puis en 2018, le gouvernement a renoncé à faire usage de l'instrument fiscal ; et la France est le seul pays européen à ne pas avoir atteint en 2020 les objectifs de développement des renouvelables auxquels il avait souscrit³².

Parce qu'il est généralement plus crédible d'agir par la norme que par la fixation d'une trajectoire de prix, l'engagement dans une démarche de planification est l'occasion de surmonter ce déficit. Encore faut-il garantir qu'elle répond aussi à l'impératif de rationalité économique.

Adopter une approche économique

L'urgence d'une réduction des émissions suggère bien évidemment de pousser les feux sur tous les fronts simultanément. Il ne faut cependant pas perdre de vue que la transition sera inévitablement une entreprise de longue haleine et que les ressources restent limitées. Tout indique que le rendement des efforts (au sens des sacrifices de bien-être immédiat) varie grandement d'une action à l'autre. Comme l'a souligné la commission Blanchard-Tirole (2021), une réflexion économique sur leur répartition est donc indispensable³³.

28. Turner A. (2020), « *Techno-optimism, behaviour change and planetary boundaries* », Keele World Affairs Lectures on Sustainability, 12 novembre, 16 pages.

29. AIE (2022), *World Energy Outlook 2022*, op.cit.

30. Voir Fondation Jean Jaurès (2022), « *Enquête climat : l'opinion dans 30 pays. Focus sur l'Europe, le Royaume-Uni, la Chine et les États-Unis* », 27 octobre.

31. Haut Conseil pour le climat (2022), *Rapport annuel 2022. Dépasser les constats, mettre en œuvre les solutions*, juin, 216 pages.

32. Voir Eurostat (2022) « *EU overachieves 2020 renewable energy target* », janvier.

33. Blanchard O. et Tirole J. (2021), *Les Grands Défis économiques*, rapport de la commission internationale, juin, 506 pages.



Même si l'instrument privilégié de la politique publique était demeuré le prix du carbone, il serait revenu aux pouvoirs publics de fixer ce qu'Alain Quinet (2019) avait justement appelé sa « valeur tutélaire »³⁴. De surcroît, faire de ce prix l'instrument exclusif de la politique publique est inefficace³⁵ et il revient aussi aux pouvoirs publics de décider du montant et de l'allocation des soutiens à la recherche et développement.

L'impératif de rationalité économique est encore plus fort dans un monde de planification des quantités. Faute de le prendre pleinement en compte, le coût en bien-être de la transition risque d'être inutilement élevé. L'action publique peut difficilement se dispenser de prendre appui sur l'approche proposée par le rapport Quinet : « agir sur un front large, mais aussi agir dans le bon ordre, fixer des priorités, concentrer les moyens sur les actions utiles, arbitrer entre le déploiement rapide de technologies matures et l'anticipation de nouvelles solutions permises par les innovations en cours, accompagner les transitions industrielles et sociales³⁶ ».

Deux conclusions peuvent être soulignées à cet égard.

- *Il faut que la planification des actions publiques soit informée par la fixation d'une trajectoire de prix implicite du carbone.* Même en l'absence d'une fiscalité du carbone, cela permet de garantir un minimum de rationalité des choix publics.
- *Une réflexion nationale sur la répartition des efforts dans le temps est nécessaire.* En se donnant pour 2030 un objectif très ambitieux de baisse des émissions, l'Union européenne a largement déterminé cette répartition³⁷. Outre l'exemplarité, ce choix répond à une double préoccupation de crédibilité et de leadership industriel qui sont l'une et l'autre légitimes. Si ces jalons sont désormais fixés, la question de la répartition des efforts dans le temps n'a pas disparu pour autant. Elle reste importante du point de vue du rapport coût-bénéfices et donc de l'acceptabilité des politiques climatiques.

Reconnaître et prendre en compte les coûts économiques de la transition

Les perspectives économiques des années à venir vont inévitablement être affectées par la crise énergétique et par la transition climatique accélérée qui va se superposer à elle. Il serait trompeur de considérer que cette dernière aura pour seules conséquences une augmentation de la croissance et des créations d'emplois. C'est seulement si ses mécanismes sont bien compris, qu'ils sont quantifiés aussi précisément que possible, et que les risques de transition associés sont correctement appréhendés que l'on pourra apprécier ses conséquences pour la croissance, l'emploi, l'inflation, les finances publiques et la compétitivité. Il serait prématuré, à ce stade, de préjuger des conclusions de ce travail. Il n'est en revanche pas trop tôt pour en tirer un message de précaution : en l'état présent de l'analyse, les risques à la baisse sur la croissance doivent être considérés comme substantiels.

Les modèles macroclimatiques sont des outils précieux, mais qui doivent être bien utilisés. Cela impose aux pouvoirs publics de connaître leurs limites, mais aussi de faire preuve de discipline lorsqu'ils y ont recours (Encadré 3, page suivante). Des progrès peuvent être faits dans ce domaine.

Construire un consensus sur la stratégie

La transition fera très certainement appel à l'ensemble des trois mécanismes précédemment analysés (substitution de capital aux énergies fossiles, réorientation du progrès technique et sobriété), dans des proportions qui dépendront à la fois de choix collectifs et des évolutions technologiques. C'est pourquoi il est généralement fait appel à des scénarios pour baliser l'espace des futurs possibles, tels que les « Scénarios Transitions 2050 » de l'Ademe ou les « Futurs énergétiques » de RTE³⁸. Ceux-ci font apparaître :

- *une grande diversité dans le choix des hypothèses.* Ainsi la stratégie américaine repose-t-elle principalement sur la décarbonation du système énergétique³⁹. Elle met fortement l'accent sur la recherche et l'innovation,

34. Quinet A. (2019), *La valeur de l'action pour le climat*, op. cit.

35. Voir Acemoglu D., Aghion P., Bursztyn L. et Hémous D. (2012), « *The Environment and directed technical change* », *American Economic Review*, vol. 102, n° 1, février, p. 131-166.

36. Quinet A. (2010), *La valeur de l'action pour le climat*, op. cit., p. 9.

37. De même que l'accord de Paris l'a fait en fixant pour 2050 un objectif de limitation de la hausse des températures. Cette décision a largement mis fin aux controverses sur l'optimisation intertemporelle qui avaient suivi la publication du rapport Stern (2006), *Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press.

38. Voir Ademe (2021), *Transition(s) 2050. Choisir maintenant, agir pour le climat*, Ademe Éditions, novembre, 685 pages ; et RTE (2021), *Futurs énergétiques 2050*, rapport complet, février, 992 pages.

39. US Government (2021), *The Long-Term Strategy of the United States. Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050*, publié par le United States Department of States et le United States Executive Office of the President, Washington DC, novembre, 65 pages.

Encadré 3 – Bien utiliser les modèles

En France comme dans d'autres pays, la préparation de la stratégie climat fait largement appel aux modèles. Se pose donc la double question de leur amélioration et de leur bon usage pour éclairer la décision publique.

S'agissant du premier point, prendre en compte la multiplicité et la diversité des canaux impliqués demande une très grande granularité, à la fois en termes de détail sectoriel et de diversité des processus à l'œuvre. La contrepartie est inévitablement d'obscurcir la nature des mécanismes proprement économiques que met en jeu la transition. Les hétérogénéités – entre ménages, entreprises, qualifications – et leurs conséquences en termes de frictions ont par ailleurs eu tendance à être sous-estimées.

S'agissant du second point, l'usage qui a été fait de ces modèles a parfois limité la pertinence de leurs résultats macroéconomiques. La préoccupation centrale des donateurs d'ordre a en effet souvent été de construire une stratégie adéquate aux objectifs fixés, sans que celle-ci comporte nécessairement une identification précise des instruments de politique publique associés. Les comportements des ménages et des entreprises ont fréquemment été supposés s'aligner sur les objectifs sectoriels permettant d'atteindre les réductions des consommations d'énergie visées, sans que ces changements répondent à des incitations explicites. En conséquence, les coûts économiques associés ont pu être sous-estimés⁴⁰.

Il n'y a pas de solution simple à ces problèmes. Pour ce qui est des outils, les modèles macroclimatiques restent indispensables à la bonne compréhension des mécanismes

sans faire explicitement appel à des changements de comportement dans le sens de la sobriété. Celle-ci, en revanche, est partie intégrante des stratégies européenne, britannique et française ;

- *une prédominance, à l'horizon 2030, de la substitution de capital aux énergies fossiles.* Le montant additionnel d'investissement requis à l'horizon 2030, net du désinvestissement dans les énergies fossiles, devrait être de l'ordre de 2 points de PIB (Encadré 1) ;
- *une contribution en tout état de cause significative des technologies encore en développement.* À l'horizon 2050, un tiers de la réduction des émissions provien-

techniques à l'œuvre, mais leur complexité induit a minima une difficulté d'interprétation économique ; ils sous-estiment très probablement les difficultés de la transition du côté de l'offre. La bonne méthode est sans doute de construire des modèles simplifiés (toy models) pour représenter spécifiquement les mécanismes économiques fondamentaux à l'œuvre dans la décarbonation, de quantifier les ordres de grandeur associés sur la base des estimations disponibles, et de les utiliser pour vérifier si les modèles macroclimatiques manquent des mécanismes macroéconomiques essentiels. C'est de ce dialogue entre deux niveaux d'analyse qu'on peut attendre une amélioration de notre appréhension des mécanismes en jeu.

L'expérience plaide enfin pour une plus grande discipline dans l'usage des modèles. Un principe de base est qu'à chaque changement de comportement des ménages ou des entreprises soit associé un levier de politique publique explicite, que l'amplitude du premier réponde à l'intensité de l'action sur le second, et que si prix il y a ses incidences distributives soient explicitement représentées.

On peut concevoir de s'écarter de ce principe, en supposant que les agents privés répondent à la mise à disposition d'informations nouvelles, à des incitations subtiles (nudges), à une évolution des normes sociales, ou bien que les changements de comportement résultent directement de changements de préférences exogènes. Mais ces hypothèses doivent être explicites, et dans la mesure du possible leur vraisemblance doit être vérifiée. Attendre des agents privés qu'ils répondent spontanément aux injonctions tacites émanant des pouvoirs publics, c'est supposer une sorte de coïncidence spontanée des volontés. Ce n'est pas de bonne méthode.

drait ainsi de technologies aujourd'hui au stade du prototype ou du démonstrateur⁴¹ ;

- *une contribution de la sobriété d'ampleur incertaine, qui sera assurément très insuffisante pour atteindre les objectifs, mais qui est collectivement nécessaire.* Du fait d'hypothèses fortes, le scénario « Génération frugale » de l'Ademe (2021) permet une réduction de 25 % des émissions 2050 par rapport au scénario « Technologies vertes ». RTE (2021) évalue quant à lui à 15 % le potentiel de réduction des émissions induit par la sobriété. Même si elle est quantitativement moindre, cette composante est cependant indispensable. C'est grâce à elle que citoyens et

40. Pour induire des modifications de comportements économiquement rationnels, les modélisateurs ont par exemple introduit un prix fictif *ad hoc* du carbone et l'ont fixé au niveau permettant d'atteindre l'objectif de réduction des émissions fixé par les décideurs publics. Ces prix fictifs ne modifient cependant ni le revenu disponible des agents privés, ni les recettes publiques.

41. AIE (2020), *Special Report on Clean Energy Innovation. Accelerating technology progress for a sustainable future*, IEA Publications, juillet, 185 pages.



acteurs sociaux pourront se mobiliser pour leur propre avenir, au lieu de s'en sentir dépossédés. De surcroît, si comme il est probable la production d'électricité décarbonée monte en charge plus lentement que la demande (typiquement, si le virage vers les véhicules électriques est plus rapide que le déploiement des renouvelables et du nouveau nucléaire), les efforts de sobriété devront être plus importants dans les dix à quinze ans qui viennent.

Interrogés par l'enquête *Fractures françaises*⁴² d'octobre 2022, les Français font surtout confiance aux changements dans les modes de production des entreprises (38 %) et à la mutation des modes de vie (30 %), mais sont plus dubitatifs à l'égard du progrès technique (14 %), dans lequel beaucoup voient sans doute un échappatoire. Mais ils jugent très majoritairement (68 %) que ce n'est pas à eux de faire des efforts, tandis que la responsabilité d'agir revient principalement à l'État et aux entreprises. Il faut sans doute lire cette ambivalence comme révélatrice de leur grande méfiance : comme l'avait déjà montré l'expérience de la Convention citoyenne pour le climat, ils ne craignent rien de plus que de devoir être seuls à consentir des sacrifices.

Ces résultats indiquent toute la difficulté, mais aussi la nécessité de construire un consensus sur la stratégie climat. Pour reprendre les conclusions d'un récent rapport de France Stratégie (2022), si la décision relève de l'exécutif et du législatif, celle-ci ne sera légitime que si elle prend appui sur une délibération d'ampleur et si l'État se donne pour but d'orchestrer plutôt que de diriger⁴³.

Accompagner et soutenir les mutations

Comme les révolutions industrielles, comme l'innovation, comme la mondialisation, la mise en œuvre d'un programme d'atténuation du changement climatique va faire des gagnants et des perdants. Moins certainement que l'inaction, qui fera surtout des perdants. Mais au moins autant que les transformations du passé.

La différence n'est pas que quantitative. Elle tient aussi à l'économie politique du changement. L'action climatique exige des décisions publiques, elle appelle une mobilisation d'ensemble, pour infléchir les évolutions spontanées et modifier les pratiques et modes de vie. Or celles et ceux qui se perçoivent, à tort ou à raison, comme des perdants potentiels, qui n'ont pas les moyens d'endurer les coûts qu'elle va induire, ou qui doutent de l'équité dans la répartition

des efforts, ont le pouvoir de la freiner. Ensemble, ils ont le pouvoir de la bloquer. Contrairement à la mondialisation, dont les bénéfices immédiats étaient plus évidents, qui n'appelait pas de choix difficiles et dont les coûts sont apparus graduellement, contrairement au progrès technique qu'il est quasiment impossible d'arrêter (même si les luddistes l'ont tenté au XIX^e siècle), c'est facile et c'est tentant. Il ne manque pas de prétextes pour refuser ou reporter l'effort.

L'ampleur des soutiens à mobiliser reste incertaine. Mais leur nature ne fait guère de doutes : pour offrir de réelles alternatives et permettre à chacun de trouver sa place dans cette transformation, il va falloir organiser les reconversions industrielles ; accompagner les mutations professionnelles ; rendre possible l'investissement des ménages contraints par la liquidité et celui des entreprises aujourd'hui trop peu profitables pour pouvoir financer les investissements requis ; et en dernier ressort, indemniser celles et ceux auxquels on ne peut pas offrir d'autres perspectives. Il va falloir, aussi, assurer l'équité dans la répartition des efforts. Cette dernière condition est particulièrement exigeante : comme l'illustre le rejet de la taxe carbone, elle n'exige rien de moins que l'égalité des sacrifices.

Se doter d'une doctrine d'emploi des fonds publics

Pour toutes les raisons qui ont déjà été indiquées, le coût de la transition pour les finances publiques risque d'être substantiel. Or ni l'Union européenne, ni la France ne se sont encore dotées d'une doctrine d'emploi des fonds publics à l'appui de la transition climatique.

La réforme à venir du Pacte de stabilité et de croissance sera l'occasion d'un débat européen sur la question. La question n'est pas urgente, compte tenu de l'ampleur du programme de relance et de résilience, qui finance pour plus d'un tiers des investissements verts. Mais elle se pose à plus longue échéance. Des propositions en vue d'un traitement préférentiel des investissements climat ont été formulées⁴⁴. Le FMI a quant à lui proposé la création, au niveau de l'Union, d'un fonds d'investissement climat financé par l'émission de dette commune⁴⁵.

La question est importante, parce que dette financière et action climatique ont l'une et l'autre une dimension intergénérationnelle. Pour le dire simplement, à défaut d'hériter à la fois de finances publiques en ordre et d'un climat

42. Ipsos/Sopra Steria pour *Le Monde*, la Fondation Jean Jaurès et le Cevipof (2022), *Fractures françaises 2022 - 10^e édition*, échantillon de 12 044 personnes interrogées du 16 au 20 septembre 2022.

43. France Stratégie (2022), *Soutenabilités ! Orchestrer et planifier l'action publique*, rapport, mars, 296 pages.

44. Voir notamment Darvas Z. et Wolff G. (2021), « *A green fiscal pact: climate investment in times of budget consolidation* », *Policy Contribution*, n°18/21, Bruegel, septembre.

45. Arnold N. et al. (2022), « *Reforming the EU fiscal framework. Strengthening the fiscal rules and institutions* », *op. cit.*

vivable, quel sera le choix des générations à venir ? Si la réponse à l'urgence climatique a un caractère d'impératif catégorique, mais que la disposition à payer des seniors d'aujourd'hui limite le montant des efforts politiquement faisables, alors le financement par la dette s'imposera. Plus spécifiquement, il ne servirait à rien de reporter les investissements climat à demain si la contrainte terminale de neutralité carbone en 2050 a un caractère absolu⁴⁶.

Ces quelques considérations ne valent pas doctrine, en particulier dans un contexte de retour des alarmes sur la solvabilité des États. Elles indiquent seulement que les questions du montant des investissements publics en faveur du climat et celle du financement de ces investissements par l'impôt ou par la dette ne peuvent ni ne doivent être éludées.

Articuler stratégie nationale et stratégie européenne

La dimension internationale de l'action climatique est un sujet en soi, qui pour l'essentiel n'a pas été abordé ici. Un volet de la question doit cependant être évoqué : la dimension européenne et les problèmes de coordination verticale qu'elle soulève.

C'est l'Union européenne qui, au nom des vingt-sept, notifie à la COP sa « contribution déterminée au niveau national » (NDC). C'est la loi climat européenne qui fixe l'objectif de neutralité carbone. C'est dans le cadre d'un système commun de quotas d'émission (SEQE-UE, plus connu par l'acronyme anglais EU-ETS) que se forme le prix européen du carbone. C'est l'Union européenne qui porte la responsabilité de définir le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF) et de négocier dans le cadre de l'Organisation mondiale du commerce. C'est enfin l'UE qui est responsable de la fixation d'un large éventail de règles et de standards environnementaux : ainsi, c'est elle qui a décidé de bannir la mise sur le marché de véhicules thermiques à partir de 2035. À bien des égards, la politique climatique est une politique de l'Union.

Dans le même temps cependant, la politique énergétique, celle des transports et celle du logement relèvent principalement de la compétence nationale. C'est le cas du sou-

tien aux ménages et aux entreprises, de la mise en œuvre des rénovations thermiques, ou de la définition des zones à faibles émissions (ZFE). Plus largement, la stratégie française énergie climat (SFEC) n'est pas la simple déclinaison d'une stratégie européenne mais traduit un certain nombre de priorités nationales. Toutes ces politiques d'accompagnement vont jouer un rôle déterminant dans l'atteinte des objectifs communs.

Entre ces deux niveaux, européen et national, il serait erroné de croire que l'articulation s'opère à la manière d'une machine sans frictions. Elle relève en fait d'instruments assez faibles. Il s'agit d'une part de la transposition des directives, qui a juridiquement valeur contraignante mais n'est pas d'application directe, d'autre part de la discussion des plans nationaux intégrés énergie climat (PNIÉC), qui relève davantage de la méthode ouverte de coordination. S'y ajoute un financement direct d'actions nationales par des fonds européens (fonds structurels et prêts BEI), que renforce temporairement l'initiative de relance et de résilience (R & R).

Or les externalités sont nombreuses. Du fait de mix énergétiques très différents dans les pays de l'Union, les décisions relatives à l'énergie et au climat au niveau européen ont des effets contrastés selon les pays, ce qui rend les décisions au niveau européen particulièrement difficiles. De plus, l'équilibre du marché du carbone européen et donc le prix qui s'y forment dépendent des actions conduites dans l'ensemble des pays. Un moindre effort dans un pays donné va se traduire mécaniquement par une plus forte demande de quotas et donc par une hausse du prix du carbone, qui affectera tous les États membres, y compris ceux qui ont atteint leurs objectifs.

Cette dimension de la question n'a pas encore reçu assez d'attention. L'expérience actuelle illustre pourtant que les interactions entre politiques nationales sont puissantes, et que face à un choc commun la coordination des efforts est loin d'être spontanément garantie parce qu'elle ne repose pas sur une gouvernance bien établie, mais plutôt sur la volonté politique des pays européens de faire preuve de solidarité entre eux.

46. On pourrait même dire, dans la mesure où la température dépend du stock de gaz à effet de serre (grossièrement assimilable au cumul des émissions), qu'il y a motif à investir le plus tôt possible dans la réduction des émissions. Dans un modèle irréaliste sans progrès technique, sans coûts d'ajustement et sans contrainte sur le niveau d'endettement, il y aurait motif à « front-loader » les investissements climat en les finançant par l'émission de dette.



CONCLUSIONS

La transition vers la neutralité carbone aura des effets puissants sur l'économie. Les trois mécanismes qu'elle est vouée à mobiliser – substitution de capital aux énergies fossiles, réorientation du progrès technique et recherche d'une plus grande sobriété dans les modes de vie – auront tous des répercussions marquées sur la production, la consommation, l'investissement, les échanges extérieurs, l'emploi, l'inflation, les finances publiques et les inégalités, en France et à l'échelle internationale.

Anticiper ces répercussions est essentiel. Cela impliquait, pour commencer, d'identifier et de comprendre les mécanismes sous-jacents. Nous nous sommes attachés, dans cette note, à définir, pour le soumettre à la discussion, un cadre d'analyse certes simplifié et encore partiel, mais aussi explicite que possible.

Malgré le caractère préliminaire de ce travail, trois conclusions s'imposent.

- À long terme, c'est-à-dire à horizon de dix ou vingt ans, construire une économie neutre pour le climat est très probablement plus aisé qu'on ne le croyait encore récemment. Certes, les problèmes sont loin d'être tous résolus. Mais s'il doit y avoir accélération des efforts, ce n'est pas seulement parce que les conséquences de l'inaction se révèlent plus dommageables qu'on ne le pensait. C'est aussi parce qu'il est raisonnable de penser que l'objectif est à notre portée.
- Pour l'immédiat, en revanche, il ne faut pas se voiler la face sur les difficultés. Prétendre, comme on l'a trop fait, que la transition sera macroéconomiquement indolore n'est ni convaincant, ni mobilisateur. Par nature elle exige des efforts, par nature elle comporte des coûts. Au regard des problèmes que nous avons surmontés – le vieillissement, par exemple – ce défi n'est pas hors de portée. Mais il importe d'en prendre toute la mesure.
- Les politiques publiques ont la capacité de réduire très substantiellement les coûts de transition. Elles ne peuvent pas nous dispenser de l'effort d'investissement qu'il nous faut consentir, ni même nous dispenser de la recherche d'une plus grande sobriété. Mais une stratégie explicite, économiquement rationnelle et crédible, collectivement partagée, et appuyée par un emploi judicieux des fonds publics occasionnera des coûts substantiellement plus faibles.

Les travaux à venir, qui donneront lieu à un rapport au printemps 2023, vont s'attacher à compléter ce premier éclairage, notamment sur les dimensions internationales qui n'ont été que rapidement évoquées, à identifier les zones aveugles de notre connaissance des mécanismes de la transition, à quantifier les ordres de grandeur en jeu, et surtout à intégrer des blocs de l'analyse qui restent à ce stade disjoints les uns des autres. Ils viseront à ce titre à contribuer à une meilleure prise en compte des enjeux économiques dans la construction de la stratégie française énergie climat.

Mots clés : transition climatique, transition énergétique, Pacte vert, sobriété, stratégie nationale bas carbone

RETROUVEZ LES DERNIÈRES ACTUALITÉS DE FRANCE STRATÉGIE SUR :



www.strategie.gouv.fr



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



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



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



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



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



Directeur de la publication : Gilles de Margerie, commissaire général ;
directeur de la rédaction : Cédric Audenis, commissaire général adjoint ;
secrétariat de rédaction : Olivier de Broca, Gladys Caré ;
dépôt légal : novembre 2022 - N° ISSN 2556-6059 ;

contact presse : Matthias Le Fur,
directeur du service Édition-Communication-Événements,
01 42 75 61 37, matthias.lefur@strategie.gouv.fr

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

Les enjeux de modélisation pour évaluer l'impact macroéconomique de la transition climatique

Anne Epaulard, Maxime Gérardin, Boris Le Hir,
Aude Pommeret, Alice Robinet et Romain Schweizer



FRANCE STRATÉGIE
ÉVALUER. ANTICIPER. DÉBATTRE. PROPOSER.

Table des matières

Résumé	2
Introduction	4
1. Les efforts d'atténuation du changement climatique sont souvent traités comme une dépense d'investissement imposée par la contrainte de réduction de l'usage des énergies fossiles	9
1.1. Bien qu'il représente un coût, l'investissement pour réduire les émissions de GES stimule la croissance et l'emploi dans les scénarios centraux des évaluations existantes de la SNBC.....	9
1.2. Les effets favorables des efforts d'atténuation sur la croissance et l'emploi reposent sur des hypothèses fortes.....	10
2. Au-delà du choc d'investissement, la transition représente un choc structurel complexe sur le système productif et sur la demande et accroît l'incertitude	12
2.1. La transition climatique implique d'importantes réallocations de capitaux et d'emplois entre secteurs et à l'intérieur des secteurs, qui génèreront nécessairement des frictions.....	12
2.2. L'impact des politiques d'atténuation sur le progrès technique, et la capacité de ce dernier à les favoriser, sont des questions très débattues.....	15
2.3. La nature et l'ampleur des changements de préférences et de comportements des ménages sont difficiles à anticiper, alors même qu'ils sont susceptibles de jouer un rôle important dans la transition climatique.....	17
2.4. Le changement climatique est un facteur supplémentaire d'incertitude pour les acteurs économiques.....	21
3. L'impact macroéconomique de la transition dépend largement des politiques mises en œuvre pour la déclencher et l'accompagner	22
3.1. L'évaluation macroéconomique doit tenir compte de l'influence des instruments politiques d'incitation.....	23
3.2. Des instruments sont à la main des gouvernements pour limiter les frictions.....	24
3.3. Le rôle des politiques monétaires et de stabilité financière sera crucial dans l'impact macroéconomique de la transition climatique.....	25
Conclusion	29
Annexe 1 – Participants au groupe de réflexion	30
Annexe 2 – Personnes auditionnées	31
Annexe 3 – Quelques principes méthodologiques d'utilisation des modèles	32

Résumé

Au cours du premier semestre de l'année 2022, un groupe de travail, présidé par Jean Pisani-Ferry et organisé par France Stratégie, a réuni l'ensemble des administrations et institutions ainsi que des personnalités qualifiées¹ qui travaillent sur la modélisation macroéconomique des conséquences des politiques de lutte contre le réchauffement. L'initiative avait pour but de prendre connaissance des travaux de chacun et d'identifier ce qui, dans nos pratiques d'évaluation de la transition énergétique, était satisfaisant et ce qui devait/pouvait être amélioré. Une douzaine de réunions se sont tenues entre avril et juillet 2022, et une vingtaine d'auditions ont été réalisées².

Ces premiers travaux ont donné lieu à une note d'étape sur les mécanismes économiques de la transition, les caractéristiques des simulations effectuées avec les modèles existants et leurs limites, publiée en novembre 2022 par Jean Pisani-Ferry et Selma Mahfouz³, comme prévu par la lettre de mission adressée en septembre par la Première ministre à Jean Pisani-Ferry, lui demandant de poursuivre son travail, afin de nourrir l'élaboration de la Stratégie française sur l'énergie et le climat (SFEC). Un rapport plus complet est prévu au printemps 2023.

Ce document, rédigé à l'issue du cycle de réunions, présente un point d'étape des travaux menés dans le groupe de travail jusqu'à juillet de façon plus détaillée que la note de novembre. Il a bénéficié de suggestions des membres du groupe de travail et de Jean Pisani-Ferry. Il présente (i) les principaux mécanismes économiques associés à la transition climatique, (ii) les caractéristiques et les limites des simulations effectuées avec les modèles macroéconomiques existants et (iii) les pistes d'amélioration des analyses macroéconomiques de la transition énergétique. Nous en résumons ici les principaux messages.

Les efforts à fournir pour lutter contre le réchauffement climatique auront des conséquences macroéconomiques importantes dès le court terme. La réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES), qui passera largement par la réduction de l'usage des énergies fossiles, nécessite dès maintenant un surcroît d'investissement souvent présenté dans les évaluations macroéconomiques de la transition comme un moteur de croissance économique (par combinaison d'effet de relance keynésienne et de réduction de la facture énergétique française). Ces évaluations souffrent toutefois d'un certain biais optimiste car elles sont fondées, dans les scénarios mis en avant, sur un bouquet d'hypothèses largement favorables (politiques optimales et coordination internationale, pas d'effets de frictions et de coûts de réallocation, modification spontanée des préférences, etc.). Les effets positifs du surcroît d'investissement sur l'activité économique à court terme ne sont pas garantis. Ils dépendent d'un grand nombre de facteurs, dont :

- le mode de financement de ces investissements (répartition entre financement public et privé, part du financement par endettement) ;

¹ Voir annexe 1.

² Voir annexe 2.

³ Pisani-Ferry J. et Mahfouz S. (2022), « L'action climatique : un enjeu macroéconomique », *La Note d'analyse*, n° 114, France Stratégie, novembre.

- le degré de coordination internationale ;
- l'ampleur et la nature des changements de préférences et de comportements des ménages ;
- les effets de frictions liées aux réallocations de capitaux et d'emplois (au sein des secteurs et entre secteurs) ;
- les politiques mises en œuvre pour déclencher et accompagner la transition ;
- la crédibilité de ces politiques publiques ;
- et l'ampleur et la nature de l'évolution technologique déclenchée par la transition.

Mesurer l'impact de la transition énergétique sur l'activité économique passe donc par l'incorporation de ces facteurs dans l'analyse quantitative et par l'appréciation des incertitudes correspondantes.

Une partie de l'insuffisance des analyses actuelles tient aux limites intrinsèques des modèles dont nous disposons aujourd'hui (capacité à représenter les changements de préférences ou les changements structurels à l'intérieur des secteurs, le progrès technique ou encore les instruments de politiques publiques de façon réaliste). Néanmoins, ces modèles intègrent d'ores et déjà une part importante des mécanismes macroéconomiques entrant en jeu dans la transition climatique. Afin d'éclairer l'élaboration des politiques publiques liées à la transition climatique sur de multiples dimensions, un certain nombre de principes sur le protocole d'utilisation des modèles et sur la publication de leurs résultats doivent être respectés. Les principaux étant :

- ne pas se limiter à une analyse en écart variantiel et détailler la description du scénario central dans son ensemble ainsi que les hypothèses sous-jacentes ;
- assurer la transparence sur le contenu et les mécanismes des modèles. Pour cela, les résultats bénéficieraient à être retranscrits de façon complète dans un cadre macroéconomique simple (équivalent *toy model*) pour bien en appréhender la logique et s'assurer de leur cohérence macroéconomique. En outre, les modèles étant souvent utilisés de façon très différente d'un exercice à l'autre, l'explicitation des éléments exogènes et des éléments endogènes est indispensable à chaque exercice ;
- détailler les résultats année après année sur un horizon temporel de court-moyen terme (dix ans ou 2030) pour identifier les potentielles sources de friction au démarrage de la transition ;
- tester la sensibilité des résultats à des hypothèses cruciales :
 - le contexte international, à la fois sur les hypothèses d'évolution des prix relatifs et des prix de l'énergie et matières premières ;
 - les modes de financement des mesures climatiques et les agents qui portent l'endettement (ménages, États, entreprises) ;
 - la politique budgétaire, comprenant le recyclage de la taxe carbone ou de recettes d'enchères dans le cadre de marché(s) de permis ;
 - les règles de politique monétaire mises en œuvre ;
 - les éléments d'évolution structurelle (progrès technique, comportement des agents).

Mots clés : transition écologique, modélisation, impact macroéconomique, évaluation, réchauffement climatique, modèles macroéconomiques

Les enjeux de modélisation pour évaluer l'impact macroéconomique de la transition climatique

Anne Epaulard, Maxime Gérardin, Boris Le Hir,
Aude Pommeret, Alice Robinet et Romain Schweizer⁴

Introduction

Le retard pris dans la lutte contre le réchauffement climatique fait que, désormais, le rythme et l'ampleur de l'effort à fournir auront des conséquences économiques importantes dès le court terme. Il devient indispensable de prendre en compte l'impact de la transition climatique dans les perspectives macroéconomiques⁵. Le court terme s'articule désormais avec le long terme. De fait, les institutions économiques et financières s'emparent de la question et cherchent à intégrer les impacts du changement climatique et des efforts d'atténuation dans leurs projections ou leurs évaluations macroéconomiques⁶. Parmi les outils à disposition, les modèles macroéconomiques jouent un rôle central dans cette intégration (voir encadré 1). Ils permettent une mise en cohérence macroéconomique et dynamique des analyses sectorielles fines.

Toutefois, les évaluations macroéconomiques de la transition climatique aujourd'hui disponibles présentent souvent la transition comme une relance de l'investissement auto-entretenu sur plusieurs décennies et ne tiennent pas suffisamment compte de la diversité des mécanismes en jeu, avec des conséquences différentes selon les secteurs, au-delà du surcroît d'investissement nécessaire : frictions dans la réallocation du marché du travail, impact sur l'environnement extérieur et sur la compétitivité, augmentation du coût du capital lié à l'incertitude, obsolescence accélérée d'une partie du capital installé, risque d'inflation « verte », etc.

⁴ France Stratégie.

⁵ Pisani-Ferry J. (2021), « [Climate policy is macroeconomic policy, and the implications will be significant](#) », PIIE Policy Brief, août ; Pisani-Ferry J. et Mahfouz S. (2022), « [L'action climatique : un enjeu macroéconomique](#) », *La Note d'analyse*, n° 114, France Stratégie, novembre.

⁶ Voir par exemple les récents travaux suivants : Ademe (2021), *Transition(s) 2050. Choisir maintenant, agir pour le climat*, rapport ; NGFS (2020), « [NGFS Climate Scenarios for central banks and supervisors](#) », Network for Greening the Financial System, juin ; Allen T., Dees S., Boissinot J. et al. (2020), « [Climate-related scenarios for financial stability assessment: An application to France](#) », Banque de France, Working Paper, n° 774, juillet ; The World Bank Group (2021), *Climate Change Action Plan 2021-2025: Supporting Green, Resilient, and Inclusive Development*, Washington D.C. ; Inspection générale des finances (2022), *Enjeux macroéconomiques et budgétaires de la neutralité carbone*, rapport.

Les évaluations macroéconomiques raisonnent par ailleurs à progrès technique inchangé et se bornent donc à apprécier les effets des réallocations intersectorielles sur le potentiel productif, sans prendre en compte l'impact sur la productivité du travail d'un changement de système énergétique et d'un changement de mode d'organisation des activités productives.

La plupart des simulations partent de l'hypothèse d'une transition qui se déroule dans les meilleures conditions possibles (coordination internationale des actions ; crédibilité élevée des politiques annoncées ; flexibilité sur le marché du travail ; technologies disponibles ; usage optimal des instruments économiques ; etc.). Si ces exercices de prospective montrent qu'une transition bien mise en œuvre peut apporter des « doubles dividendes », ils apportent peu d'enseignements sur comment procéder pour qu'elle se déroule effectivement dans un contexte favorable.

Au cours du premier semestre de l'année 2022, un groupe de travail, présidé par Jean Pisani-Ferry et organisé par France Stratégie, a réuni l'ensemble des administrations et institutions qui travaillent sur des modélisations macroéconomiques des conséquences des politiques de lutte contre le réchauffement, ainsi que des personnalités qualifiées⁷.

Ces échanges, qui se sont inscrits à partir de septembre dans le cadre d'une mission confiée par la Première ministre à Jean Pisani-Ferry⁸, avaient pour but de prendre connaissance des travaux respectifs de chacun. Une douzaine de réunions se sont tenues entre avril et juillet 2022, et près d'une vingtaine d'auditions ont été réalisées⁹.

Ces premiers travaux ont donné lieu à une note d'étape sur les mécanismes économiques de la transition, les caractéristiques des modèles existants et leurs limites, publiée en novembre 2022 par Jean Pisani-Ferry et Selma Mahfouz¹⁰, comme prévu par la lettre de mission. Au-delà de cette note d'étape, qui visait à mettre en débat de premières questions et analyses, la mission poursuit son travail et prévoit de rendre un rapport plus complet au printemps 2023, afin de nourrir l'élaboration et l'évaluation de la Stratégie française sur l'énergie et le climat (SFEC).

Sur la base des présentations et des discussions qui ont été menées, ce document de travail présente un point d'étape des travaux menés jusqu'à juillet. Il tente d'explicitier la façon dont ces mécanismes sont et peuvent être pris en compte dans les modèles et conclut avec l'identification de premières pistes de recommandations méthodologiques d'utilisation des modèles.

La première partie recense dans un cadre analytique simple et agrégé les principaux canaux d'impact macroéconomique de la transition, lorsque les efforts d'atténuation y sont analysés comme un coût d'investissement. Elle souligne l'importance des hypothèses retenues. Enfin, elle discute les scénarios envisageables d'évolution du progrès technique et précise les conditions sous lesquelles certaines évaluations aboutissent à un double dividende.

La deuxième partie introduit les multiples éléments de complexité de la transition qui peuvent avoir un impact de premier ordre : l'hétérogénéité entre agents économiques (parmi les ménages et parmi les entreprises) et entre secteurs ; les frictions que peuvent induire les

⁷ Voir annexe 1.

⁸ Voir [la lettre de mission](#).

⁹ Voir annexe 2.

¹⁰ Pisani-Ferry J. et Mahfouz S. (2022), « L'action climatique : un enjeu macroéconomique », *op. cit.*

réallocations entre métiers et entre territoires, et les enjeux de capital échoué ; les déterminants des changements de préférences des consommateurs et des producteurs. Elle met à jour les arbitrages qui en résultent, notamment en ce qui concerne le financement public des investissements nécessaires. Elle conclut sur l'impact de l'incertitude qu'induisent ces différents éléments. Elle s'attache à identifier les apports et les limites des modèles dans notre capacité à intégrer ces éléments de complexité et à rendre compte des enjeux sous-jacents.

La troisième partie précise en quoi les politiques publiques peuvent influencer sur la transition climatique et affecter son impact macroéconomique. Elle traite des questions de vitesse, de crédibilité, de choix des instruments, de stratégie monétaire et de coordination internationale et évalue la capacité des modèles à différencier les instruments à la main des décideurs publics (taxes, subventions, normes). Elle élargit ainsi le champ de sensibilité des simulations macroéconomiques de la transition à prendre en compte.

Encadré 1 – L'utilisation des modèles pour l'analyse de la transition climatique

La plupart des travaux d'évaluation *ex ante* de l'impact macroéconomique de la transition sont fondés sur des simulations de modèles dont l'objectif est d'intégrer la complexité des canaux de transmission et des interactions économiques. Ces modèles permettent d'évaluer l'impact des politiques/chocs de transition (la mise en place d'une taxe carbone, par exemple) sur les différentes variables qui sont supposées être directement affectées telles que la consommation d'énergie ou les émissions de gaz à effet de serre (CO₂ uniquement dans beaucoup de cas) mais aussi sur des variables macroéconomiques standards telles que la croissance ou l'emploi.

Les principaux modèles utilisés pour l'analyse de la transition écologique peuvent être regroupés en trois grandes catégories mobilisées selon la question traitée.

Les modèles d'évaluation intégrée (ou modèles IAM) représentent dans un système numérique unique le cycle complet des interactions entre les activités humaines et la sphère environnementale. La conception de ces modèles mobilise de multiples champs disciplinaires (climatologie, géophysique, biologie, économie, ingénierie, etc.). Les principales relations décrites sont celles qui lient les activités économiques, les émissions anthropiques de gaz à effet de serre (GES) dans les systèmes climatiques et les impacts du changement climatique sur les systèmes socioéconomiques (via des fonctions de dommage). Ces modèles permettent de définir le type mais aussi la proportion d'actions souhaitables pour atténuer le réchauffement climatique et s'inscrivent donc dans une logique coût-bénéfice. Le modèle DICE de Nordhaus¹¹ est un modèle emblématique des modèles IAM. Ces modèles apparaissent particulièrement pertinents pour définir un niveau d'effort pour limiter le réchauffement climatique au niveau mondial (approche coût-bénéfice), au prix toutefois d'hypothèses fragiles sur les impacts du dérèglement climatique.

Partant du principe que l'objectif à atteindre est désormais fixé et que l'on se place dans un périmètre géographique limité – la neutralité carbone à l'horizon 2050 en France, ou même au niveau européen – c'est plutôt dans une approche coût-efficacité que l'on se place et cela ne nécessite pas de modéliser la sphère environnementale (sauf éventuellement pour évaluer les coûts d'adaptation). Seules les composantes technologiques et macroéconomiques du système, ainsi que les flux d'émissions de GES, sont nécessaires à modéliser.

¹¹ Nordhaus W. (2017), « DICE/RICE models - William Nordhaus - Yale Economics ».

Les modèles technico-économiques, quant à eux, décrivent de façon détaillée les technologies de production d'un ou plusieurs secteurs. Ce sont des modèles dits « d'ingénieur ». La plupart d'entre eux se concentrent sur un domaine en particulier. Par exemple, les modèles TIMES (Mines Paris-Tech), POLES (Enerdata) ou PRIMES (NTUA, CE) visent à représenter de la façon la plus complète possible le système énergétique. Ce système inclut à la fois les technologies de production et les technologies liées à l'utilisation de l'énergie, et permet de gérer avec cohérence leurs substitutions potentielles. Ils peuvent ainsi fournir des informations à un niveau fin sur l'offre d'énergie, le mix énergétique et les technologies utilisées, les émissions émises, etc. L'objet principal de tels modèles est de définir la structure du système énergétique et d'en évaluer le coût pour y arriver en fonction d'un contexte macroéconomique donné, de la disponibilité des ressources, des politiques publiques et d'informations détaillées sur les technologies disponibles. D'autres modèles décrivent de façon spécifique le secteur agricole ou celui des transports sur une même logique. Ces modèles ne sont pas « bouclés » économiquement, et ne peuvent donc pas prendre en compte les effets de rétroactions macroéconomiques ou intersectorielles.

L'utilisation de modèles macroéconomiques est alors nécessaire pour assurer la cohérence macroéconomique de l'analyse de la transition climatique. Les modèles IMACLIM (Cired), ThreeME (OFCE-ADEME), NEMESIS (Seureco), Mirage (CEPII), Mésange (DGTrésor-Insee), GEM-E3 (CE-IPTS/NTUA) ou QUEST (CE-DGECFIN) font partie de cette catégorie de modèles. Au sein de cette catégorie, il est aussi usuel de distinguer les modèles selon les bases théoriques sur lesquels ils reposent (modèles plutôt « keynésiens » si l'équilibre de court terme est tel que les ajustements se font principalement par l'offre, ou plutôt « néoclassiques » si l'équilibre de court terme est obtenu principalement par des évolutions de prix) ainsi que sur leur traitement des anticipations (anticipations adaptatives, anticipations rationnelles, prévisions parfaites). Ces distinctions sont importantes pour les évolutions de court terme, moins pour les évolutions de moyen et long termes car sur le long terme les ajustements se font par les prix dans tous les modèles.

Dans ces modèles, qui fonctionnent sur la base de fonctions de production et de consommation, les rétroactions macroéconomiques des politiques environnementales passent en grande partie par des mécanismes de substitution entre facteurs de production et entre biens de consommation et, lorsque la politique est en partie financée par la dette, par un accroissement de la demande lié à l'investissement. L'ampleur des substitutions repose sur les paramètres des fonctions de production estimées ou calibrées sur données historiques. Les spécifications usuelles des fonctions de production s'avèrent cependant parfois trop frustes pour correctement décrire l'ensemble des possibles en matière technologique, compte tenu de l'ampleur des chocs attendus. Pour cela, des modules technologiques sont développés dans certains modèles (sur la production d'énergie ou le transport, par exemple). Le détail technologique reste toutefois limité pour des raisons techniques, la résolution numérique du modèle devenant impossible ou trop lourde au-delà d'un certain niveau de complexité.

Ces trois catégories de modèles se complètent et permettent de traiter des questions de nature différente. Certaines analyses nécessitent de tenir compte de la complexité de la réalité aux différents niveaux – à la fois au niveau technologique et au niveau macroéconomique par exemple. Dans ce cas, des exercices de couplage des modèles peuvent être envisagés (soit de façon simple avec une seule itération soit en bouclage total entre les modèles). Ces exercices sont toutefois délicats à mener et imposent certaines contraintes de compatibilité des modèles (les sorties de l'un étant utilisées comme entrée de l'autre et réciproquement dans le cas d'un bouclage, la structure de ces intrants/sortants doit être similaire). Si les travaux mettant en œuvre des couplages complets sont rares pour ces raisons, il existe un nombre important d'exercices dans lesquels les différents types de modèles sont utilisés en parallèle, l'un alimentant l'autre dans le calibrage des hypothèses.

Si d'un côté la complexité des mécanismes impose le recours à des approches très détaillées, de l'autre le principe de parcimonie doit s'appliquer à tout exercice de modélisation pour éviter autant que possible l'effet « boîte noire » et permettre la bonne compréhension et l'appropriation des résultats. Pour cela, des modèles plus simples (*toy models*), comme le modèle Vulcain développé par le CGDD (Commissariat général au développement durable), qui présentent des épures visant à mettre en évidence l'importance d'un élément donné dans la transition climatique (par exemple le rôle de la concurrence et de l'innovation), peuvent être utilisés. À ce titre certaines équipes de chercheurs en charge de gros modèles proposent des modèles réduits (*toy models*) en complément des modèles détaillés pour mieux mettre en évidence les rouages (voir KLEM, une version simplifiée du modèle Imaclim).

Il serait illusoire de vouloir établir la supériorité d'une approche par rapport à une autre. Les différentes modélisations sont complémentaires et doivent être menées de front pour dégager *in fine* un panorama complet et intelligible des enjeux de la transition climatique.

Encadré 2 – Coûts d'atténuation, coûts d'adaptation et coûts des dommages

Le changement climatique engendre des coûts pour la société. Trois catégories de coûts peuvent être distinguées :

- les coûts d'atténuation, regroupant l'ensemble des efforts à fournir pour réduire les émissions de GES, de sorte à limiter le réchauffement climatique. Les coûts d'électrification du parc automobile ou encore de décarbonation de l'industrie entrent dans cette catégorie ;
- les coûts d'adaptation, regroupant les coûts des actions qui seront nécessaires pour s'adapter au nouveau climat et contrer les dommages générés par le réchauffement climatique même limité. Ils intègrent par exemple le surcoût des infrastructures pour les rendre plus résilientes, la sécurisation des ressources d'eau, les coûts d'adaptation des productions agricoles aux terres arides, ou encore les coûts de protection des côtes maritimes ;
- les coûts des dommages qui s'ajouteront aux coûts d'adaptation et qui sont définis par les pertes directes liées au réchauffement climatique malgré les actions d'adaptation. Ils incluent les dégâts générés par les événements extrêmes rendus plus fréquents par le réchauffement (incendies, tempêtes, etc.) ; la perte de productivité du travail dans certains secteurs, comme la construction, liée aux fortes chaleurs et aux intempéries ; les pertes de rendement des terres agricoles, etc.

Pour une partie des actions, une certaine perméabilité peut apparaître entre ces catégories. C'est le cas par exemple des actions de rénovation énergétique des bâtiments lorsque celles-ci incluent à la fois l'amélioration de l'efficacité énergétique (c'est plutôt de l'atténuation) et l'amélioration du confort d'été (c'est plutôt de l'adaptation). Ces coûts sont en outre interdépendants car le montant des dommages dépendra des actions d'adaptation et d'atténuation réalisées au niveau mondial.

L'analyse macroéconomique décrite dans cette note ne prend en compte que les coûts d'atténuation. Les politiques d'adaptation et les coûts des dommages sont supposés modérés à l'horizon d'analyse, et considérés comme exogènes. Il existe peu d'évaluations des coûts

d'adaptation. Une étude récente réalisée par I4CE chiffre à 2,3 milliards d'euros par an le coût budgétaire de 18 mesures que les auteurs qualifient d'« incontournables, mûres et "sans regret" à déployer dès maintenant¹² »¹³, mais ces mesures sont loin de couvrir l'ensemble des coûts d'adaptation¹⁴.

1. Les efforts d'atténuation du changement climatique sont souvent traités comme une dépense d'investissement imposée par la contrainte de réduction de l'usage des énergies fossiles

1.1. Bien qu'il représente un coût, l'investissement pour réduire les émissions de GES stimule la croissance et l'emploi dans les scénarios centraux des évaluations existantes de la SNBC

Les évaluations actuelles de l'impact macroéconomique de la transition climatique abordent les efforts d'atténuation (voir encadré 2) comme un choc d'investissement¹⁵ généré par une contrainte sur l'utilisation des énergies fossiles. L'augmentation du coût des énergies fossiles, matérialisée dans la réalité par des taxes ou des normes, conduit les acteurs économiques à réduire l'utilisation de ces énergies soit en les substituant à d'autres vecteurs énergétiques, soit en améliorant la performance énergétique. Cela nécessite des investissements qui peuvent prendre des formes multiples. Du côté des entreprises, il s'agit par exemple d'acquisitions de machines de production plus performantes ; de la mise en place de capacités de production d'énergies renouvelables ; de modifications des processus de production. Du côté des ménages, ils consistent en des rénovations énergétiques des logements, des remplacements prématurés de systèmes de chauffage, ou encore des remplacements de véhicules. Tous ne constituent pas des investissements au sens de la compatibilité nationale car, par exemple, l'achat de véhicules est considéré comme un achat de biens durables, mais pour la plupart ils peuvent économiquement être regardés comme tels dans le sens où ils permettent des réductions d'émissions sur plusieurs années. Au total, ces coûts d'investissement sont estimés, dans les différents travaux, monter en charge progressivement pour atteindre un ordre de grandeur qui reste incertain¹⁶.

¹² Dépoues V., Dolques G. et Nicol M. (2022), « [Se donner les moyens de s'adapter aux conséquences du changement climatique en France : de combien parle-t-on ?](#) », étude, I4CE, juin.

¹³ Comme l'adaptation est en général un processus assez long, les propositions sont formulées sous forme de flux annuels, pendant la durée d'un quinquennat au moins.

¹⁴ Pour la méthodologie précise, voir Dépoues V. (2022), « [Changement climatique : passer des coûts de l'inaction aux besoins pour l'action](#) », *Revue de l'OFCE*, n° 176, p. 275-296.

¹⁵ Ministère de la Transition écologique (2022), [Évaluation macroéconomique de la SNBC 2 avec le modèle ThreeME](#), février ; Ademe (2022), [Les effets macroéconomiques des scénarios de "Transition\(s\) 2050"](#) ; Commission européenne (2020), [Stepping up Europe's 2030 climate ambition. Impact assessment](#), septembre ; Climate Change Committee (2020), [The Sixth Carbon Budget. The UK's path to Net Zero](#), décembre ; EY (2014), [Macroeconomic impacts of the low-carbon transition](#), étude.

¹⁶ Ademe/CGDD (2022), « [Évaluation macroéconomique de la Stratégie nationale bas carbone \(SNBC2\) avec le modèle ThreeME](#) », document de travail, février ; I4CE (2021), [Panorama des investissements climats](#), décembre ;

Au premier abord, la contrainte de transition représente donc un coût pesant sur l'activité et la consommation puisqu'il faut investir davantage pour maintenir un certain niveau de production ou un certain niveau de consommation hors énergie. Néanmoins, dans les simulations relatives à l'évaluation de la Stratégie nationale bas carbone (SNBC) et dans la plupart des évaluations macroéconomiques des politiques d'atténuation, plusieurs éléments viennent contrebalancer ce coût et conduisent à stimuler la croissance et l'emploi.

En premier lieu, les économies d'énergie fossile induites amortissent les surcoûts d'investissement. En second, les investissements génèrent de la demande adressée aux secteurs producteurs des biens d'investissements et enclenchent les mécanismes habituels de relance keynésienne qui, dans un contexte où l'activité est sous son potentiel, tend à accroître l'activité et l'emploi tout en accentuant l'effet inflationniste de la transition via les salaires. En troisième lieu, l'hypothèse d'action coordonnée au niveau international suppose que les autres pays, et en particulier les pays européens, réalisent des efforts de réduction des émissions comparables et subissent eux aussi une augmentation de leur coût de production. L'alignement partiel de l'augmentation des prix des partenaires commerciaux étrangers sur l'augmentation des prix français réduit alors significativement les variations de prix relatifs et l'impact des politiques d'atténuation sur la balance commerciale française reste modéré. L'effet sur les finances publiques est là aussi contrebalancé à long terme par les gains de croissance. Dans les simulations réalisées avec le modèle ThreeME pour la SNBC 2, la croissance supplémentaire accroîtrait les recettes publiques, améliorant le solde public de 3,8 points de PIB en valeur par rapport au scénario « Avec mesures existantes » (AME) en 2050.

1.2. Les effets favorables des efforts d'atténuation sur la croissance et l'emploi reposent sur des hypothèses fortes

Cette scénarisation positive repose sur un jeu d'hypothèses favorables qu'il est important de préciser, notamment quant aux capacités de financement de la transition, aux politiques publiques mises en œuvre, au contexte international ou encore aux tensions que la transition pourrait générer. Les travaux levant ces hypothèses ou retenant des combinaisons d'hypothèses moins favorables aboutissent à des résultats macroéconomiques plus nuancés, pouvant même être négatifs¹⁷.

L'effet positif de l'investissement est d'autant plus grand que l'investissement est important et que les sources de financement sont disponibles. Si les sources de financement sont limitées (et si la Banque centrale réagit au surcroît d'inflation), la hausse des taux d'intérêt provoque un effet d'éviction limitant l'effet positif de l'investissement sur l'activité. La hausse du taux d'intérêt a d'autant plus de chances d'apparaître que le reste du monde s'engage dans des efforts d'investissement importants. Les simulations intégrant un effet de rétroaction du taux d'intérêt aux investissements de transition montrent que l'éviction des

I4CE (2022), *Panorama des investissements climats*, novembre ; Rexecode (2022) « *Enjeux économiques de la décarbonation en France : une évaluation des investissements nécessaires* » ; Quinet A. (2019), *La valeur de l'action pour le climat. Une valeur tutélaire du carbone pour évaluer les investissements et les politiques publiques*, rapport, France Stratégie.

¹⁷ Variantes sur le contexte international avec Imaclim pour la SNBC 2 ; étude d'impact du paquet « Fit for 55 » ou les travaux de Finance ClimAct.

investissements productifs peut être suffisamment importante pour aboutir à un impact économique final négatif. En d'autres termes, les besoins de financement des investissements nécessaires à la transition climatique (en France et dans le reste du monde) risquent d'augmenter le taux d'intérêt « naturel » (r^*) au niveau mondial, ce qui limite les possibilités d'investissement dans d'autres domaines. À cela s'ajoute la politique monétaire au sens strict qui joue sur l'écart entre le taux d'intérêt effectif et le taux d'intérêt naturel. La politique monétaire joue donc aussi un rôle clef dans le résultat des simulations sur lequel nous revenons plus loin.

De façon générale, le mode de financement de la transition a un impact important sur les résultats. En particulier les hypothèses sur le partage entre les financements publics et privés de la transition et sur la part du financement par endettement doivent être interrogées, notamment au regard du choix de modélisation :

- sans effet de retour sur la politique budgétaire de l'État, faire porter l'effort de financement sur les acteurs publics plutôt que privés améliore mécaniquement l'impact macroéconomique de la transition ;
- sans effet de retour sur le taux d'intérêt, le financement par endettement tend également à améliorer l'impact macroéconomique de la transition.

Le choix de ne pas introduire ces effets de retour doit être réalisé en cohérence avec l'ampleur des financements publics et des niveaux d'endettement.

L'influence du contexte international passe par plusieurs canaux. Dans un environnement international favorable – où les pays avec qui on commerce font une transition comparable à la nôtre – l'impact de la transition sur les prix relatifs et la compétitivité reste modéré. L'impact négatif sur la balance commerciale est donc amorti. En outre, dans une transition à l'échelle mondiale, les prix des énergies fossiles pesant sur les importations françaises sont réduits, ce qui limite la dégradation du solde de la balance commerciale. Deux autres canaux de premier ordre, mais de sens opposés, s'ajoutent à cela :

- d'un côté une dynamique de transition forte au niveau international devrait conduire à accélérer le progrès technique et la réduction des coûts de décarbonation. Le progrès technique devrait être plus faible si l'Europe s'engage seule dans la transition que si les efforts sont coordonnés au niveau mondial ;
- de l'autre, dans un contexte dans lequel l'ensemble des pays s'engagerait fortement dans la transition, une tension sur les matériaux critiques pourrait conduire à augmenter le coût de la décarbonation dans certains domaines¹⁸, voire, si des problèmes de disponibilités en quantité venaient à se matérialiser, à remettre en cause le déploiement de certaines technologies.

Certains travaux prennent en compte différents contextes internationaux¹⁹ et montrent un impact important de ces hypothèses sur les résultats macroéconomiques. Néanmoins, les

¹⁸ Pommeret A., Ricci F. et Schubert K. (2022), « [Critical raw materials for the energy transition](#) », *European Economic Review*, Elsevier, vol. 141(C), janvier.

¹⁹ Voir par exemple les travaux du NGFS prenant en compte différents scénarios : transitions ordonnée, retardée et désordonnée ; les travaux du CEPII dans le cadre de l'analyse d'impact du CBAM.

deux derniers canaux sont aujourd'hui encore mal intégrés dans les modèles et des travaux sont en cours pour améliorer leur intégration dans les analyses. En particulier le modèle mondial MatMat de l'Ademe vise à intégrer les enjeux de tension sur les matériaux critiques. Les travaux de RTE se sont aussi attachés à déterminer les besoins en matière, sur 16 matériaux critiques, pour chacun de leurs scénarios. L'impact du contexte international sur le progrès technique peut quant à lui être en partie endogénéisé ou intégré via des hypothèses exogènes cohérentes.

2. Au-delà du choc d'investissement, la transition représente un choc structurel complexe sur le système productif et sur la demande et accroît l'incertitude

2.1. La transition climatique implique d'importantes réallocations de capitaux et d'emplois entre secteurs et à l'intérieur des secteurs, qui généreront nécessairement des frictions

Non seulement la transition nécessite des investissements mais elle pourrait également impliquer de ne pas exploiter une partie du capital fixe aujourd'hui en place avant sa dépréciation complète, générant ce qu'il est convenu d'appeler des « actifs échoués ». On peut ici distinguer les actifs productifs potentiellement échoués (infrastructures dépendantes des énergies fossiles, unités de production ayant des intrants carbonés non substituables, etc.) détenus par les entreprises de ceux détenus par les ménages (logements mal isolés, chauffés au gaz ou au fioul et donc potentiellement sensibles à une augmentation des prix du carbone ou à un durcissement de la réglementation). La littérature met en évidence que, dans le cas d'un scénario très adverse, c'est-à-dire dans le cas où les transformations structurelles de l'économie liées à la transition n'auraient pas lieu, ou pas assez vite, ces dévalorisations, qui sont d'abord ponctuelles et concentrées sur les activités très émissives, peuvent ensuite se propager à d'autres secteurs productifs²⁰ ainsi qu'au secteur financier²¹, et générer des impacts macroéconomiques significatifs. Pour les actifs détenus par les ménages, les évaluations mettent en avant un risque concentré sur l'immobilier périurbain dans le cas d'une transition mal anticipée (consommation énergétique importante des logements et modes de vie dépendant de la voiture). Là encore, la prise en compte de ces aspects reste malaisée dans les modèles. En outre, les auditions ont mis en avant un certain nombre de travaux suggérant un risque modéré sur cet aspect dans le cas de la France. Néanmoins l'ampleur de ce risque ne semble pas être suffisamment bien évaluée et la question doit rester ouverte.

²⁰ Cahen-Fourot L., Campiglio E., Godin A., Kemp-Benedict E. et Trsek S. (2021), « [Capital stranding cascades: The impact of decarbonisation on productive asset utilization](#) », *AFD Research Papers*, n° 204, mars, p. 1-32.

²¹ Battiston S., Mandel A., Monasterolo I., Schütze F. et Visentin G. (2017), « A climate stress-test of the financial system », *Nature Climate Change*, vol. 7(4), p. 283-288.

La transition aura aussi des effets très variés selon le secteur d'activité, le territoire ou le type de ménage. Ceci provient de l'hétérogénéité des acteurs :

- des entreprises de taille, d'histoire ou de domaine d'activité différents n'auront pas la même attitude ou les mêmes capacités en matière d'innovation verte, ou en matière de réponse et d'agilité face aux chocs de la transition. Ce constat appelle, pour l'analyse, une granularité suffisante de la représentation du secteur marchand et justifie le recours à des modèles sectoriels suffisamment détaillés, avec une représentation des interdépendances sectorielles ;
- de même, l'hétérogénéité, c'est-à-dire les inégalités de situation des ménages face à la transition climatique, déjà abondamment commentée, appelle une représentation suffisamment fine des ménages pour pouvoir prendre en compte les mesures redistributives ciblées. En effet la structure de l'emploi et de la consommation influe sur la manière dont des chocs d'emploi ou de prix, positifs ou négatifs, sont transmis dans l'ensemble de l'économie.

En arrière-plan de l'hétérogénéité des ménages et des entreprises apparaît aussi la question de l'hétérogénéité des territoires, et en particulier la situation des territoires cumulant les vulnérabilités face à la transition – faibles revenus par personne, dépendance à la voiture, emploi concentré dans des filières (élevage industriel, etc.) susceptibles d'être confrontées à une demande en diminution.

Des réallocations seront nécessaires, en tout premier lieu la réallocation d'emplois²² entre secteurs, vers le secteur du bâtiment pour assurer la rénovation thermique par exemple, et à l'intérieur des secteurs, comme dans le secteur de production automobile dont la chaîne de production devrait être fortement transformée. Ce mouvement est d'un ordre de grandeur tel que la capacité à trouver les candidats en nombre suffisant sur chaque territoire, et à les former à ces métiers, est loin d'être acquise par avance. Il s'agit là de « frictions » à gérer par les politiques publiques et dont, dans l'idéal, la modélisation macroéconomique devrait prendre en compte les coûts estimés.

L'ensemble de ces sujets ne pouvant être intégrés à la modélisation macroéconomique, le raisonnement par modélisations microéconomiques complémentaires est incontournable pour faire apparaître les risques de frictions, voire, idéalement, pour les représenter, de manière exogène, dans les simulations macroéconomiques.

Quand ces frictions touchent aux « macrosecteurs » (production énergétique, industries lourdes) représentés explicitement dans les « gros » exercices de modélisation, la question de la bonne représentation des réallocations et frictions au sein de la brique technique correspondante se pose de façon directe. Elle peut être illustrée par l'exemple de

²² Vona F., Marin G., Consoli D. et Popp D. (2015), « [Green skills](#) », NBER Working Paper Series, n° w21116, National Bureau of Economic Research, avril ; Vona F., Marin G., Consoli D. et Popp D. (2018), « Environmental regulation and green skills: An empirical exploration », *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, vol. 5(4), p. 713-753 ; Davis S. J. et Haltiwanger J. (1992), « Gross job creation, gross job destruction, and employment reallocation », *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 107(3), août, p. 819-863 ; Montt G., Wiebe K. S., Harsdorff M., Simas M., Bonnet A. et Wood R. (2018), « Does climate action destroy jobs? An assessment of the employment implications of the 2-degree goal », *International Labour Review*, vol. 157(4), décembre, p. 519-556 ; Perrier Q. et Quirion P. (2017), « [La transition énergétique est-elle favorable aux branches à fort contenu en emploi ? Une analyse input-output pour la France](#) », *Revue d'économie politique*, vol. 127(5), p. 851-887 ; etc.

l'automobile (voir encadré 3). L'automobile n'aborde pas la transition climatique depuis un état stationnaire préexistant ; elle la voit plutôt s'ajouter à un ensemble de tendances ou de transformations préexistantes, parfois abruptes. Cette remarque vaut pour d'autres secteurs – par exemple, tous ceux touchés par la numérisation de l'économie.

**Encadré 3 – Illustration de la complexité des changements structurels :
le cas du secteur automobile²³**

Le secteur automobile en Europe fait l'objet, avant même tout effet de la transition climatique, de transformations structurantes. La plus marquante de ces tendances est sûrement le déplacement de l'offre des constructeurs généralistes depuis des véhicules « grand public » vers le segment « premium », avec une augmentation du niveau d'équipements et de la masse des véhicules vendus. Ce déplacement va de pair avec le durcissement continu des diverses normes (qualité de l'air, équipements de sécurité, crash-tests). Il entraîne un resserrement du nombre de ménages en capacité d'acquérir une voiture neuve, y compris thermique, et s'accompagne d'une augmentation de la part des entreprises et des formules de crédit dans les immatriculations de voitures neuves, ainsi que du vieillissement du parc en circulation, puisque ce dernier est désormais renouvelé plus lentement.

S'ajoute à ces tendances le surgissement de la technologie batterie. Si ce surgissement est accéléré par l'impératif de transition climatique, il peut être vu en large part comme une disruption de nature technologique, qui se serait imposée inéluctablement dans tous les cas. En tout état de cause, ce basculement emporte des conséquences lourdes sur les chaînes de valeur de la construction automobile, et donc sur ses emplois, à travers tout d'abord la recomposition de la valeur ajoutée d'un véhicule, mais aussi potentiellement, à terme, via une réduction de la production annuelle de véhicules, tant il est possible que les véhicules à batterie, subissant peu d'usure de leur chaîne de traction, atteindront des kilométrages bien plus élevés.

Côté usages, l'électrique induit un glissement vers des coûts fixes (le coût marginal du kilomètre parcouru diminue, mais le prix d'achat de la voiture se renchérit) qui interroge le modèle « un adulte = une voiture » – mais l'incertitude reste grande quant à la capacité des usages à se départir de ce paradigme et à inventer des modèles alternatifs. En outre, une dichotomie nouvelle devrait apparaître entre véhicules du quotidien, moins chers mais incapables de longs trajets autoroutiers, et véhicules capables de ces trajets. Ainsi toute la dynamique du parc en circulation, pour l'instant déterminée principalement par la montée en gamme du neuf vers le premium, pourrait être bouleversée, par exemple si de nombreux ménages combinent, au moins dans une phase intermédiaire, voitures électriques récentes pour les trajets du quotidien, et voitures thermiques âgées pour les longs trajets occasionnels. Et les interrogations quant à la taille et au niveau d'équipements des voitures de demain restent grandes, entre appels à privilégier des voitures légères et constat, à ce jour, d'une montée en gamme ininterrompue.

Les grands traits d'un tel faisceau de transformations, quelles que soient les incertitudes qui l'entourent, doivent être représentés aussi réalistement que possible, et sans biais d'optimisme, dans le bloc « technique » des modèles macroéconomiques. De cette bonne représentation dépend, entre autres, un diagnostic correct sur les coûts complets futurs de la mobilité, ainsi que sur l'emploi dans le secteur automobile, deux grandeurs qui elles-mêmes joueront sur la trajectoire macroéconomique.

²³ Sur la base de l'audition de T. Pardi et de B. Jullien du 17 mai 2022.

Enfin, toutes les tendances susmentionnées, propres ou non à la transition climatique, peuvent rebattre les avantages comparatifs des différentes zones de production. Dans l'automobile, la complexité du moteur thermique formait, dans une certaine mesure, une barrière aux importations, que le passage à l'électrique finit de lever. Ceci pose la question, et quels que soient les segments de véhicules privilégiés à l'avenir, de la capacité du bloc européen à se protéger contre des importations à moindre coût. Les modélisations se doivent de représenter avec réalisme la compétitivité future de l'industrie automobile européenne et l'équilibre futur entre production domestique et importations de véhicules, en cohérence avec les décisions politiques prises face à ce défi.

2.2. L'impact des politiques d'atténuation sur le progrès technique, et la capacité de ce dernier à les favoriser, sont des questions très débattues

Le progrès technique apparaît comme un enjeu crucial dans la transition, notamment dans le débat sur le lien entre croissance et transition climatique. Deux représentations du développement du progrès technique dans un contexte de changement climatique coexistent. La première suppose qu'il suffit de réorienter l'innovation vers les technologies « vertes » plutôt que « brunes », ce qui est coûteux à court terme mais bénéfique à long terme, tandis que la seconde suppose que l'innovation « verte » est moins performante que l'« innovation brune » et que les coûts existent donc à la fois à court terme et à long terme. Il n'est pas possible à ce stade de trancher entre ces deux représentations. Certes, en se basant sur des mesures de corrélation, la littérature empirique met en évidence que les entreprises les plus productives sont également les plus vertes²⁴. Mais ce résultat peut être le fruit d'une causalité inversée (les plus productives sont les plus profitables et peuvent se permettre financièrement d'être en avance dans le verdissement), si bien qu'on ne peut pas conclure.

La dépendance au sentier de l'innovation tend à valider la seconde représentation à court terme (puisqu'il est plus rentable pour les entreprises de continuer à investir dans le brun, tant qu'il n'y a pas une masse critique d'innovation dans le vert), sans que cela n'invalide la pertinence de la première dans le futur.

Il n'y a pour l'instant pas d'évidence empirique que le sentier avec prévalence de l'innovation verte soit d'ores et déjà le sentier emprunté : au niveau mondial, on observait jusqu'à récemment une diminution des brevets verts depuis dix ans, ce qui est pour le moins contraire à ce qu'on s'attendrait à observer dans une économie en transition. La littérature académique fournit des explications à ce phénomène. La première est fondée sur la corrélation entre le prix du gaz et l'allocation de l'innovation. Le prix du gaz, en chute sur la période, aurait dirigé le progrès technique vers l'innovation brune. La deuxième repose sur la nature de l'innovation verte jusqu'à présent. Les délocalisations massives (notamment des panneaux solaires en Chine) ont engendré des innovations de process plutôt que des innovations de rupture, plus radicales, ce qui ne se traduirait pas par un changement de sentier. Dernière interprétation, plus pessimiste :

²⁴ Voir le fait stylisé 4, p. 9, dans Copeland B.R., Shapiro J.S. et Scott Taylor M. (2021), « [Globalization and the Environment](#) », NBER Working Paper, n° 28797, mai.

le boom du progrès technique vert du début des années 2000 ne pourrait être qu'une anomalie (sortie de sentier temporaire) dont l'origine reste ouverte²⁵.

L'émergence et le déploiement à une échelle et une vitesse suffisantes de technologies vertes venant se substituer à des technologies brunes dépend certes des politiques environnementales mais également d'autres facteurs, comme l'importance de la taille des marchés pour ces biens et de leurs prix relatifs²⁶. En effet, l'innovation est encouragée vers le secteur des intrants les plus importants, tandis que l'effet de prix oriente l'innovation vers le secteur dont le prix est le plus élevé. Les amplitudes relatives de ces effets dépendent notamment de l'élasticité de la substitution entre les secteurs bruns et verts et les niveaux relatifs de développement des deux technologies. Lorsque les deux intrants sont substituables, l'effet de prix est plus faible et l'innovation tend à se diriger vers le secteur le plus avancé : elle présente bien une dépendance au sentier²⁷. Au contraire, si l'énergie est un complément aux autres intrants²⁸, les subventions sont moins nécessaires pour réguler la direction du changement technique car un sentier de croissance équilibré apparaît plus facilement.

Compte tenu de la dépendance au sentier, il est donc justifié pour la puissance publique d'agir vite, pour inciter les entreprises à innover dans le vert, même avec un taux d'actualisation élevé à la Nordhaus²⁹. Le coût à changer de sentier sera en effet d'autant plus élevé que l'économie s'est engagée loin sur celui de l'innovation brune. Pour ce faire, la combinaison d'une taxe sur les émissions et d'une subvention à l'innovation apparaît pertinente. D'une part, une politique industrielle portée par des subventions à la R & D permet d'internaliser l'externalité technologique et de garantir le rythme optimal de progrès technique. D'autre part, une taxe carbone permet de s'assurer que le progrès technique soit bien dirigé vers les innovations propres. À partir de données sur le secteur automobile, Aghion *et al.* (2016)³⁰ montrent que la taxe carbone permet de réorienter les innovations vers le vert et qu'il existe bien une dépendance au sentier.

La dépendance au sentier suggère d'adopter dans la modélisation une approche endogène pour le progrès technique, quand bien même cette dernière perd de sa pertinence dans une analyse nationale plutôt que mondiale. Même si cela ne permet pas d'intégrer les

²⁵ Voir en particulier : Dechezleprêtre A. et Glachant M. (2014), « Does foreign environmental policy influence domestic innovation? Evidence from the wind industry », *Environmental and Resource Economics*, vol. 58, p. 391-413. Glachant M. et Ménière Y. (2013), « [Technology diffusion with learning spillovers: Patent versus free access](#) », *The Manchester School*, vol. 81(5), septembre, p. 683-711.

²⁶ Acemoglu D. (1998), « [Why do new technologies complement skills? Directed technical change and wage inequality](#) », *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 113(4), novembre, p. 1055-1089. Acemoglu D. (2002), « [Directed Technical Change](#) », *The Review of Economic Studies*, vol. 69(4), octobre, p. 871-809. Acemoglu D., Aghion P., Bursztyn L. et Hémous D. (2012), « [The Environment and directed technical change](#) », *American Economic Review*, vol. 102(1), février, p. 131-166.

²⁷ Aghion P., Hepburn C., Teytelboym A. et Zenghelis D. (2019), « Path dependence, innovation and the economics of climate change », in Fouquet R. (dir.), *Handbook on Green Growth*, Cheltenham, Edward Elgar Publishing, p. 67-83.

²⁸ Ce qu'estiment Hassler J., Krusell P. et Olovsson C. (2021), « Directed technical change as a response to natural-resource scarcity », *Journal of Political Economy*, vol. 129(11), novembre, p. 3039-3072.

²⁹ Acemoglu D., Aghion P., Bursztyn L. et Hémous D. (2012), « [The Environment and directed technical change](#) », *op. cit.* ; Gerglath R., Kverndokk S. et Einar Rosendahl K. (2009), « [Optimal timing of climate change policy: Interaction between carbon taxes and innovation externalities](#) », *Environmental and Resource Economics*, vol. 43(3), p. 369-390.

³⁰ Aghion P., Dechezleprêtre A., Hémous D., Martin R. et Van Reenen J. (2016), « Carbon taxes, path dependency and directed technical change: Evidence from the auto industry », *Journal of Political Economy*, vol. 124(1), février, p. 1-51.

externalités de connaissance liées à l'innovation, prendre en compte le progrès technique incorporé au capital permettrait d'endogénéiser sa diffusion³¹. Si la diffusion devait rester modélisée de manière exogène, elle devrait rester cohérente avec les autres hypothèses (sur l'ampleur de l'action mondiale en particulier).

2.3. La nature et l'ampleur des changements de préférences et de comportements des ménages sont difficiles à anticiper, alors même qu'ils sont susceptibles de jouer un rôle important dans la transition climatique

Les préférences et comportements des ménages représentent une dimension importante de la transition climatique. Ceux-ci sont usuellement reflétés par les élasticités de substitution dans les équations de comportement des modèles. Néanmoins, l'ampleur de la transition pourrait amener à modifier en profondeur ces préférences et comportements et à changer la valeur même de ces élasticités. La structure même de la consommation pourrait être modifiée. Des développements de modèles visent à intégrer ces effets. Par exemple, le modèle ThreeME introduit des fonctions de diffusion technologique pour refléter l'adoption de nouveaux modes de transport (mobilités douces), mais ceux-ci restent difficiles à appréhender et à anticiper (voir encadré 4).

Au-delà d'une évolution des préférences des ménages en faveur des biens et services moins carbonés, la transition impliquera très probablement une évolution généralisée des comportements vers plus de sobriété énergétique. Celle-ci peut se définir comme une démarche de réduction de la demande de services énergétiques induite par l'adoption de certains comportements au niveau individuel ou collectif.

Au niveau des ménages, il peut s'agir de « petits gestes » du quotidien permettant de réaliser des économies d'énergie (par exemple limiter l'éclairage, réduire la température de chauffage d'un degré), ou des ruptures structurelles des modes de vie (devenir végétarien, privilégier les biens de seconde main, réduire sa quantité de déchets, limiter ses déplacements en augmentant le télétravail, faire du covoiturage, mutualiser certains équipements voire développer la cohabitation, etc.). Ces « petits gestes » pourraient entraîner une réduction de l'emprunte carbone des ménages de l'ordre de 5 % à 25 % d'après une étude de Carbone 4³². Les *Futurs énergétiques 2050* de RTE prévoient quant à eux que l'activation des gisements de sobriété permettrait un gain de 90 TWh sur la consommation par rapport à une trajectoire sans rupture de comportement³³, soit près de 15 % de la consommation nationale d'électricité du scénario central. Le chapitre 5 du sixième rapport du GIEC³⁴ avance lui aussi (avec une confiance de niveau moyen) que les changements socioculturels et de mode de vie peuvent accélérer l'atténuation du changement climatique. Parmi les 60 actions identifiées qui pourraient modifier la consommation individuelle, les choix de mobilité individuelle présentent le plus grand potentiel de

³¹ Boucekkine R. et Pommeret A. (2004), « [Energy saving technical progress and optimal capital stock: The role of embodiment](#) », *Economic Modelling*, vol. 21(3), p. 429-444.

³² Dugast C. et Soyeux A. (2019), *Faire sa part ? Pouvoir et responsabilité des individus, des entreprises et de l'État face à l'urgence climatique*, Paris, Carbone 4.

³³ RTE (2021), *Futurs énergétiques 2050*.

³⁴ Creutzig F., Roy J., Devine-Wright P., Díaz-José J., Geels F. W., Grubler A., Maizi N., Masanet E., Mulugetta Y., Onyige C. D., Perkins P. E., Sanches-Pereira A., Weber E. U. (2022), « Demand, services and social aspects of mitigation », in IPCC (2022), *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

réduction de l'empreinte carbone : 2 tCO₂eq d'émissions par tête et par an pourraient être évitées au niveau mondial en donnant la priorité à la mobilité sans voiture (marche, vélo et mobilité électrique). Parmi les autres options présentant un fort potentiel d'atténuation au niveau mondial figurent la réduction des voyages en avion, l'ajustement de l'utilisation des appareils électroménagers et de refroidissement, le passage aux transports en commun et l'évolution de la consommation vers des régimes à base de plantes, pour un total qui pourrait atteindre jusqu'à 9 tCO₂eq par tête et par an.

La nature et l'ampleur des changements de comportements ainsi que la diffusion de leurs effets sur l'économie pourront être différentes selon que ces changements sont atteints de manière contrainte ou spontanée.

D'après le rapport du GIEC, les changements spontanés exigent à la fois une forte motivation et une certaine capacité à effectuer ce changement. Ce rapport insiste sur les variables psychologiques qui influencent la motivation de changement des individus, telles que la prise de conscience, la perception du risque, les normes subjectives et sociales, les valeurs et le contrôle comportemental perçu. Le changement de comportement des individus et des ménages nécessite aussi une capacité de changement (disponibilité/connaissance des options ; ressources matérielles/cognitives pour initier et maintenir le changement). Les personnes aisées qui contribuent de manière disproportionnée à l'augmentation des émissions ont aussi un potentiel élevé de réduction des émissions tout en maintenant un niveau de vie et un bien-être décent. Cependant, les interventions comportementales par le biais de « *nudges* » et autres moyens d'affecter les décisions ne contribuent à elles seules qu'à réduire la consommation d'énergie dans des proportions faibles à moyennes au niveau mondial.

De manière générale, si certains changements de comportements peuvent s'observer aujourd'hui sans qu'ils aient fait l'objet d'action publique spécifique (par exemple la structure de la consommation de viande en France sur dix ans³⁵ ou le phénomène du « *flygskam* » – honte de prendre l'avion – en Suède³⁶), il semble peu réaliste d'envisager que la généralisation de comportements plus sobres se fera en l'absence de contrainte, via les prix ou les normes (voir encadré 5).

Outre la nécessaire action sur les prix, d'autres interventions parallèles sont susceptibles de faciliter les changements de comportements, notamment en offrant des options alternatives en réponse à une hausse des prix. Par exemple, le déploiement de l'usage du vélo peut s'opérer par l'augmentation et la sécurisation d'infrastructures adaptées.

L'effet de la sobriété énergétique sur l'économie demeure difficile à anticiper. Par rapport à un scénario tendanciel, il s'agit notamment d'établir si la réduction de la demande de services énergétiques est nécessairement synonyme de moindre activité économique, et de détailler les conséquences qu'impliquerait cette baisse de croissance (voir encadré 5).

L'engagement de la société civile pourrait également jouer un rôle dans la transition si les consommateurs exercent une pression sur les entreprises. La préférence croissante vers des biens et services « verts » peut ainsi pousser les entreprises à investir et à innover dans ces

³⁵ I4CE (2022) « [Non, la consommation de viande ne baisse pas](#) », Billet d'analyse, octobre.

³⁶ Henriot F. et Schubert K. (2021), *La transition énergétique. Objectif zen*, Paris, CEPREMAP/Éditions Rue d'Ulm.

secteurs. Pour l'instant, les preuves empiriques de l'existence de ce phénomène restent faibles. Dans le secteur automobile par exemple, plusieurs enquêtes montrent que le consentement à payer pour réduire les émissions est faible mais que ce sont les économies d'énergie qui sont valorisées par les consommateurs. Du côté de l'offre, la réduction des marges sur les modèles les moins efficaces énergétiquement permet de compenser l'attrait des modèles efficaces.

Encadré 4 – Les modèles sont-ils aptes à retracer les changements majeurs à attendre ?

Les paramètres des modèles macroéconomiques sont estimés ou calibrés pour retracer convenablement le passé. Le changement climatique va se traduire par des changements structurels de telle ampleur qu'il est possible que les paramètres estimés ou calibrés sur le passé ne soient plus valables. Dans le cas où les modèles sont composés d'équations estimées sous forme réduite (c'est-à-dire sans que l'on puisse remonter des paramètres estimés à des paramètres dits structurels représentant des technologies ou des préférences), ce questionnement est identique à la célèbre critique de Lucas (1976)³⁷. Mais la question de la stabilité des coefficients structurels estimés ou calibrés se pose aussi face aux changements structurels qu'implique la transition climatique. Par exemple, l'innovation technologique pourrait permettre d'augmenter significativement l'élasticité de substitution entre le capital et l'énergie (modification des fonctions de production), les préférences des ménages pourraient aussi évoluer rapidement, ce qui modifierait leur consommation d'énergie au-delà de ce que le seul signal prix ou les régulations pourraient déclencher.

Si les paramètres structurels changent rapidement, les impulsions (sous forme d'impôts, de subventions, de normes, etc.) pour déclencher la transition climatique pourraient être revues à la baisse et/ou le coût de la transition climatique pourrait être en partie réduit. La transition climatique nécessiterait cependant les mêmes changements de structure de l'économie (moins de consommation d'énergie fossile) ou une croissance économique plus faible (comme par exemple dans le scénario « Sobriété » établi par l'Ademe en 2021). Là encore, le tempo de la mise en place des politiques de transition est critique et interagit avec les modifications de comportements : l'impression d'une « imminence permanente » pouvant favoriser les comportements de type *wait and see*.

Du point de vue du modélisateur, l'incertitude sur l'évolution des paramètres structurels peut être en partie contournée en menant des études à des niveaux sectoriels fins où il est parfois possible d'envisager dès maintenant l'impact de la transition sur la fonction de production (par exemple le cas de l'automobile, présenté dans l'encadré 3). Mais l'incertitude sur ces paramètres ne sera levée que progressivement. Cela incite à réaliser des scénarios alternatifs dans lesquels un ou des paramètres structurels sont modifiés. Cela doit aussi conduire à une surveillance permanente des évolutions dans les habitudes de consommation des ménages et des entreprises. De ce point de vue, la mise à disposition – quasiment en temps réel pour les chercheurs en sciences sociales – des données de consommation d'électricité, de carburant, de transports collectifs, de viande, etc., permettrait d'identifier rapidement les effets des politiques sur la demande et les changements de préférences et de comportements.

³⁷ Lucas R. E. (1976), « [Econometric policy evaluation: A critique](#) », in Brunner K. et Meltzer A. H. (dir.), *The Phillips Curve and Labor Markets*, New York, American Elsevier, coll. « Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy », t. 1, p. 19-46.

Encadré 5 – L'impact macroéconomique de la sobriété

Même s'il n'existe pas de consensus sur la définition du concept de sobriété, il importe de la distinguer de la notion d'efficacité énergétique. On regroupe sous cette dernière les actions consistant à utiliser moins d'énergie pour produire le même bien ou service et nécessitant des investissements souvent importants (remplacement des ampoules à incandescence par des LED, isolation des logements, optimisation des chaînes de production, investissement dans des équipements moins énergivores, etc.). À l'inverse, les actions de sobriété peuvent se faire au prix éventuel d'une baisse du confort des agents (baisse de la température de son logement, temps de trajet plus long, etc.) sans que cela soit systématique (consommer moins de viande est bon pour la santé, et peut relever d'une préférence individuelle).

Si la notion de sobriété prend aujourd'hui une place de plus en plus importante dans les débats, il reste difficile de l'imaginer se produire spontanément à grande échelle. Aussi, plusieurs catégories d'instruments peuvent être envisagées pour accélérer son déploiement. La première consiste à soutenir des changements de comportement volontaires en favorisant la prise de conscience des individus. Ces instruments incluent des campagnes de diffusion de l'information (comme l'illustrent les récentes campagnes de communication sur la baisse de température de garde de son logement) ou le recours à des outils d'incitation aux bonnes pratiques, les *nudges* (coups de pouce en français)³⁸ ou encore des investissements publics (pistes cyclables, par exemple). La seconde catégorie d'instruments vise plutôt à modifier les comportements de façon contrainte (réduction de la vitesse sur les routes, par exemple). Ces instruments sont par ailleurs souvent utilisés de façon complémentaire, comme l'illustre l'essor récent de la pratique du vélo en milieu urbain dense qui repose à la fois sur la multiplication des voies interdites à la circulation automobile, le déploiement des pistes cyclables sécurisées, les aides à l'achat de vélos électriques et la montée en puissance du changement climatique dans le débat public.

L'impact de la sobriété sur le niveau d'activité économique mesuré par le PIB reste peu documenté et fait l'objet de débats. Trois visions s'opposent sur son impact macroéconomique.

- La sobriété serait associée à une baisse de la consommation finale des ménages en faveur de l'investissement pour la transition : dans cette vision, l'activité économique, dans sa globalité, ne baisse pas, mais se recompose entre consommation finale et investissement : la réduction de la consommation finale des ménages permet une augmentation du taux d'épargne qui est elle-même affectée au surcroît d'investissement nécessaire à la transition.
- La sobriété serait associée à une recomposition de la consommation par substitution des biens et services carbonés par des biens et services peu carbonés là encore sans affecter le PIB : par exemple, les ménages consommant moins de viande et de transport en avion dépenseraient davantage en service à la personne.
- La sobriété serait associée à une baisse de l'activité économique³⁹, la baisse de la consommation carbonée n'étant substituée que partiellement. Ce scénario est privilégié par ceux qui considèrent que toute activité économique a une empreinte écologique et que sa diminution est nécessaire.

Au-delà des effets macroéconomiques comptables, le débat porte aussi largement sur l'impact sur le bien-être qui, même dans une approche de baisse de consommation, reste ambigu.

³⁹ Artus P. (2022), « [Climate policies: The two versions of degrowth](#) », *Flash Economics*, n° 18, Natixis.

2.4. Le changement climatique est un facteur supplémentaire d'incertitude pour les acteurs économiques

Au vu de l'ampleur de la transformation du modèle économique, de l'échelle mondiale de la transition et de la temporalité dans laquelle celle-ci devra être mise en place, le niveau d'incertitude est immense sur de nombreux aspects. La prise en compte de ces incertitudes est indispensable pour deux raisons. La première est qu'il faut évaluer le champ des trajectoires possibles et le degré de confiance que l'on peut avoir dans les projections que l'on construit. La seconde provient de l'importance d'anticiper l'impact que ces incertitudes peuvent avoir sur l'économie, les agents ne prenant pas les mêmes décisions dans des situations avec et sans incertitudes. En particulier, en présence d'incertitudes, les décisions irréversibles – donc les investissements – se trouvent retardées⁴⁰.

Le changement climatique en lui-même – notamment sa vitesse, son ampleur et surtout ses conséquences – s'ajoute aux incertitudes déjà mentionnées. Dans les modèles IAM, l'impact du réchauffement climatique sur l'économie est directement représenté par une fonction de dommage dont la spécification, souvent critiquée⁴¹, s'appuie sur une littérature des sciences du climat en constante évolution. Dans les modèles macroéconomiques, l'impact du changement climatique et le niveau souhaité d'atténuation sont considérés comme exogènes. L'incertitude climatique se reporte alors sur l'objectif de réduction des émissions.

La transition elle-même pourrait également produire des tensions géopolitiques difficilement modélisables, notamment liées à l'approvisionnement en matériaux nécessaires aux énergies renouvelables⁴². L'autre grande incertitude tient aux modalités de l'émergence et de la diffusion des nouvelles technologies permettant la décarbonation de l'économie.

L'apparition des dommages liés au changement climatique entraîne la montée en puissance du risque juridique⁴³. Un exemple concret de risque a été donné par la faillite de l'énergéticien californien PG & E en 2019, après que des victimes des feux de forêt ont poursuivi l'entreprise pour ne pas avoir adapté son réseau aux risques de conditions climatiques de plus en plus sèches. Plusieurs actions en justice contre des entreprises du secteur de l'énergie et du pétrole et du gaz⁴⁴ sont également en cours, souvent intentées par des villes ou des organisations de la société civile qui cherchent à obtenir des compensations pour des catastrophes liées au climat. Des procès du même type sont également intentés contre des États dans le but de forcer les politiques à agir plus rapidement⁴⁵.

⁴⁰ Dixit A. et Pindyck R. (1994), *Investment under Uncertainty*, Princeton, Princeton University Press et Pindyck R. (2021), « [What we know and don't know about climate change, and implications for policy](#) », *Environmental and Energy Policy and the Economy*, vol. 2, p. 4-43.

⁴¹ Weitzman M. L. (2009), « [On modeling and interpreting the economics of catastrophic climate change](#) », *Review of Economics and Statistics*, vol. 91(1), février, p. 1-19 ; Pindyck R. S. (2013), « [Climate change policy: what do the models tell us?](#) », *Journal of Economic Literature*, vol. 51(3), septembre, p. 860-872.

⁴² IRENA (2019), *A New World. The Geopolitics of the Energy Transition*, International Renewable Energy Agency.

⁴³ Comme en atteste notamment la base de données du Grantham Institute : [Climate Change Laws of the World \(climate-laws.org\)](#).

⁴⁴ Par exemple Jessop S., Ridley K. et Nasralla S. (2022), « [Shell directors may face lawsuit over climate transition plans](#) », Reuters, 15 mars.

⁴⁵ Telles que « L'Affaire du siècle » en France ou Urgenda aux Pays-Bas.

Enfin, il convient de rappeler que, dans les scénarios propres à la transition en France, beaucoup de trajectoires de variables exogènes sont soumises à une grande incertitude. C'est le cas du prix du pétrole (comme le montre l'exemple récent de la guerre en Ukraine) ou bien encore de la participation des autres États aux accords internationaux (comme la montré le retrait des États-Unis de l'Accord de Paris sous la mandature du président Trump).

Ces incertitudes pourraient avoir des conséquences négatives sur le déroulé de la transition, en particulier pour l'investissement. D'un côté, une matérialisation plus rapide et plus brutale qu'anticipé du risque physique pourrait par exemple réduire la richesse nette de nombreux emprunteurs, entraînant la multiplication des défauts et des prêts non performants et réduisant d'autant la rentabilité des banques et leur capacité à assurer le financement de l'économie (et de la transition)⁴⁶. D'un autre, les incertitudes sur la forme que prendra la transition (en particulier sur la valorisation attendue de la lutte contre le changement climatique) augmentent encore le risque dans les investissements bas carbone (en plus des risques inhérents aux investissements dans des technologies nouvelles), ce qui pourrait réduire l'endettement toléré par les banques⁴⁷.

Dans ce contexte, évaluer une trajectoire centrale ne suffit plus, il est nécessaire d'évaluer l'incertitude autour de celle-ci et, surtout, la capacité de résilience de l'économie à ces incertitudes. Pour cela, il convient de bien établir les hypothèses auxquelles la trajectoire est sensible et de quantifier l'ampleur de la sensibilité du scénario à chacune de ces hypothèses.

3. L'impact macroéconomique de la transition dépend largement des politiques mises en œuvre pour la déclencher et l'accompagner

Au-delà des mécanismes liés directement à l'effort de décarbonation de l'économie en lui-même, la façon de l'enclencher et de le mettre en œuvre jouera significativement sur les conséquences macroéconomiques de ce choc. Il dépendra de nombreux facteurs tels que les instruments politiques mis en place, la façon dont les agents vont financer leurs investissements, les politiques conduisant à des changements de comportements imposés ou spontanés, l'existence de politiques de gestion des risques de transition ou encore le choix des politiques monétaires⁴⁸.

⁴⁶ Ces questions sont également à relier aux problématiques auxquelles devront faire face les assureurs et les réassureurs dans une telle situation.

⁴⁷ Aglietta M., Espagne E. et Perrisin Fabert B. (2015), « [Une proposition pour financer l'investissement bas carbone en Europe](#) », *La Note d'analyse*, n° 24, France Stratégie, février.

⁴⁸ Boitier B., Callonnec G., Douillard P., Epaulard A., Ghersi F., Masson E. et Mathy S. (2015), « [La transition énergétique vue par les modèles macroéconomiques](#) », *Document de travail*, n° 2015-05, France Stratégie, octobre ; Douillard P., Epaulard A. et Le Hir B. (2016), « [Modèles macroéconomique et transition énergétique](#) », *La Note d'analyse*, n° 43, France Stratégie, février.

3.1. L'évaluation macroéconomique doit tenir compte de l'influence des instruments politiques d'incitation

Les pouvoirs publics s'appuient sur de multiples instruments pour déclencher les investissements nécessaires à la transition, mais tous ne se valent pas du point de vue économique. Le signal prix est supposé être le moyen le plus efficace mais sa mise en application a été jusqu'à présent sujette à une faible acceptabilité sociale⁴⁹. À ce titre, plusieurs enquêtes montrent que les mécanismes de redistribution des recettes de la taxe carbone jouent un rôle important sur l'acceptabilité⁵⁰. De ce fait, le recours aux normes et aux subventions semble devenir la voie privilégiée des nouvelles mesures⁵¹. À l'inverse, si elles sont *a priori* mieux acceptées, elles sont sujettes à de potentielles inefficacités et peuvent tout autant entraîner des effets régressifs⁵². Les normes, déterminant *ex ante* l'allocation des efforts, peuvent en effet aboutir à des surcoûts de transition, de même que des subventions⁵³ si elles sont mal orientées. Or, les modèles intègrent ces normes via un prix dual correspondant à un signal prix fictif (équivalent à une taxe redistribuée forfaitairement aux mêmes agents). Cette représentation est la plus fidèle lorsqu'il s'agit de normes sur les quantités de GES émis (quotas d'émissions par exemple) par les secteurs correspondant aux périmètres des modèles. En revanche, elle ne permet pas de tenir compte des éventuelles inefficacités intrasectorielles de la norme lorsque celle-ci prend d'autres formes (interdiction pure, par exemple) ou lorsqu'elle s'applique à des sous-secteurs où à un périmètre différent de ceux décrits par le modèle (dimension territoriale des normes ZFE dans un modèle national, par exemple). Les travaux en cours à l'OCDE⁵⁴ visant à évaluer les équivalences entre les différentes mesures, notamment au regard de l'élaboration du mécanisme d'ajustement carbone aux frontières en Europe, pourront être analysés au prisme de cette hétérogénéité dans les conséquences des différents instruments incitatifs.

Des mesures différentes, visant un même effet en termes de réduction d'émission de gaz à effets de serre, ne générant pas les mêmes effets économiques, l'évaluation de l'impact macroéconomique de la transition climatique ne peut s'abstraire des mesures sous-jacentes à l'atteinte des objectifs fixés.

⁴⁹ La faible acceptabilité sociale de la taxe n'est pas nécessairement intrinsèque à celle-ci mais peut être liée aux modalités de mise en œuvre. Opter pour un déploiement de subventions à la décarbonation dans un premier temps, pour ensuite mettre en place une taxe carbone avec un sentier clair mais levée plus tard, une fois que l'assiette a été réduite, pourrait conduire à une meilleure acceptabilité, comme cela a été le cas aux Pays-Bas.

⁵⁰ Douenne T. et Fabre A. (2020), « [French attitudes on climate change, carbon taxation and other climate policies](#) », *Ecological Economics*, vol. 169, mars ; Dechezleprêtre A., Fabre A., Kruse T., Planterose B., Chico A. S. et Stantcheva S. (2022), « [Fighting climate change: International attitudes toward climate policies](#) », NBER Working Papers, n° 30265, juillet.

⁵¹ Même si des mécanismes de tarification sont encore en projet ou à l'étude tant au niveau français qu'europpéen.

⁵² À titre d'exemple, les Zones à faibles émissions (ZFE) risquent de pénaliser particulièrement les ménages moins aisés roulant en véhicule thermique d'occasion et n'ayant pas la possibilité de changer de véhicule à court terme. Des politiques d'accompagnement des ménages exposés à ce type de norme sont alors essentielles pour ne pas aggraver les inégalités.

⁵³ La subvention peut être considérée comme un signal prix similaire à la taxe. Néanmoins, si on peut taxer directement les émissions de CO₂, on subventionne en général des actions permettant des réductions d'émissions souvent incertaines : la taxe sur le carburant cible directement les émissions carbone, tandis que les subventions à la rénovation énergétique des bâtiments ont des effets parfois douteux.

⁵⁴ Carhart M., Litterman B., Munnings C. et Vitali O. (2022), « [Measuring comprehensive carbon prices of national climate policies](#) », *Climate Policy*, vol. 22(2), p. 198-207.

Au total, le choix des leviers politiques (subventions, taxes, normes, etc.) étant déterminant dans l'impact macroéconomique de la transition, pour être utile aux décideurs publics, les modèles doivent pouvoir différencier aussi fidèlement que possible les effets de ces leviers et les simulations réalisées doivent tenir compte de la nature des mesures mises en place et documenter la sensibilité du résultat à l'hypothèse qui est prise sur les mesures non actées. Ce type d'approche permettra en outre d'apporter des enseignements précieux pour la définition de ce que pourraient être un mix et un séquençement optimal des instruments.

3.2. Des instruments sont à la main des gouvernements pour limiter les frictions

Comme cela a été décrit plus haut, la transition conduira à des tensions auxquelles la politique devra répondre, d'une part les frictions sur le marché du travail et d'autre part les enjeux de capital échoué (logement, chauffage, véhicule).

Dans la mesure où les effets distributifs des politiques d'incitation tendent à accroître les inégalités, leur mise en place doit s'accompagner de dispositifs de compensation, en particulier pour les ménages les plus vulnérables. Dans cette optique, la question de la compensation de la taxe carbone ou de l'accompagnement des normes par des subventions est centrale pour répondre à l'enjeu de la redistribution au sein de la population.

Des politiques industrielles et de soutien aux innovations vertes via des subventions par exemple, couplées à la taxe carbone, sont aussi nécessaires et doivent être anticipées dans les secteurs concernés par un déclassement prématuré du capital brun, afin de les détourner du sentier que ces secteurs ont pris⁵⁵. La coordination entre pays est notamment un facteur important dans la diffusion des innovations vertes et pour éviter les fuites de carbone.

Par ailleurs, les politiques de transition représentent des enjeux importants en matière de transformation du marché de l'emploi dans ces secteurs. La littérature pointe ainsi, pour l'atteinte de la neutralité carbone à l'horizon 2050, le besoin d'accélérer le rythme de réorientation de la formation vers des nouveaux métiers liés à la transition climatique (dans la rénovation énergétique des bâtiments, la fabrication des véhicules électriques, etc.). À l'inverse, la formation dans les secteurs les plus intensifs en carbone voués à décroître fortement, voire à disparaître, doit être peu à peu limitée⁵⁶. Sans ajustement des compétences, des déséquilibres importants entre les besoins des entreprises et les qualifications des salariés pourraient émerger et ralentir la transition. Le marché de la rénovation illustre ces risques de frictions. L'accélération du rythme de rénovation énergétique nécessaire au respect des objectifs implique des gains de productivité dans le secteur, qui reposent sur le renforcement de la qualification (et du salaire) des artisans du bâtiment, entraînant un risque de saturation des compétences et de friction sur le marché de la rénovation. L'offre de main-d'œuvre qualifiée pourrait alors devenir insuffisante par rapport à la demande, rendant incertaine l'évolution des coûts dans le secteur de la rénovation.

⁵⁵ Audition de P. Aghion, 5 juillet 2022.

⁵⁶ Mercure J.-F., Chester D., Lynch C., Jarvis S. et Jarvis A. (2021), « [Stranded human and produced capital in a net-zero transition](#) », *Research Square*, juin.

Au-delà des besoins de reconversion, il est également nécessaire d'anticiper des risques de destructions d'emplois associés à la transition (la production de voitures électriques est par exemple moins intensive en main-d'œuvre que la production de voitures thermiques).

Ces politiques d'accompagnement ont un coût. Elles pourront être en partie financées par les recettes de la taxe carbone selon le mix d'instruments incitatifs retenu, mais elles devront probablement aussi être financées par ailleurs. Il n'y a pas de raison *a priori* que les deux pans s'équilibrent, surtout si la taxe carbone n'est plus l'instrument privilégié. Là encore, les options politiques retenues auront des conséquences importantes sur l'impact macroéconomique de la transition dont il est indispensable de tenir compte.

3.3. Le rôle des politiques monétaires et de stabilité financière sera crucial dans l'impact macroéconomique de la transition climatique

La question du rôle des politiques monétaires – donc des banques centrales – dans le verdissement de l'économie a récemment gagné en puissance, notamment avec la création en 2017 du Network for Greening the Financial System (NGFS, un réseau mondial de banques centrales et de superviseurs financiers). La légitimité d'un « mandat climatique » des banques centrales de même que les mesures à utiliser pour y arriver font néanmoins encore aujourd'hui l'objet de débats⁵⁷. En effet, ces mesures représentent parfois des défis techniques mais ont également des contreparties qui peuvent dans certains cas entrer en contradiction avec les mandats des banques centrales⁵⁸. Trois catégories de mesures se distinguent.

La première catégorie de mesures envisagées par le NGFS concerne les activités de crédit des banques centrales. Ces mesures pourraient prendre la forme de coûts de refinancement différenciés en fonction de l'intensité carbone des contreparties. Dans la même veine, la modification de certaines conditions de crédit en fonction de la divulgation du contenu carbone (les *disclosures*) ou des engagements climatiques des contreparties est également envisagée. La deuxième catégorie de mesures considérées est, elle, spécifique aux actifs acceptés comme collatéraux par les banques centrales. Il s'agirait d'appliquer des critères de pondération en fonction de l'exposition au risque climatique de certains actifs. Au-delà du risque, certains critères peuvent également être envisagés comme des outils d'incitation au verdissement des bilans des contreparties (par exemple en favorisant les produits participants spécifiquement à la transition comme les *green bonds*). À l'extrême, ces mesures pourraient prendre la forme d'exclusion des actifs les plus carbonés. Dernière catégorie enfin, les politiques de discrimination qui pourraient être mises en place lors des opérations de rachats de titres sur les marchés. Comme pour les actifs acceptés comme collatéraux, il s'agirait ici essentiellement de sortir de la neutralité

⁵⁷ Les termes de ce débat pourraient en outre être amenés à changer prochainement car ils sont pour la plupart nés dans le cadre de la politique monétaire expansionniste qui faisait suite à la crise des *subprimes* de 2008 (encore accentuée par la crise du Covid-19). Or, le retour de l'inflation avec la guerre en Ukraine pourrait conduire à un resserrement de ces politiques (hausse des taux directeurs, durcissement des conditions du *quantitative easing*, etc.).

⁵⁸ Elles sont notamment discutées dans [Adapting Central Bank Operations to a Hotter World. Reviewing some options](#) pour le NGFS (mars 2021) ou dans le cas particulier de la BCE, dans « [To be or not to be "green": how can monetary policy react to climate change?](#) » (Occasional Paper Series, n° 285, novembre 2021).

de marché des banques centrales et d'appliquer des critères (de pondération, voire d'exclusion) de certains acteurs ou certains actifs en fonction de leur intensité carbone ou de leur exposition au risque climatique.

Ces diverses options présentent néanmoins des obstacles qu'il faudra dépasser pour pouvoir les mettre en œuvre. Le premier est relatif au périmètre légal des actions des banques centrales. Il incombe en effet en premier lieu au personnel politique élu d'amorcer les politiques de la transition, et les mandats des banques centrales font rarement mention des questions de durabilité. Qui plus est, les interventions des banques centrales contraires à la neutralité de marché pourraient entraîner des contentieux avec les émetteurs pénalisés. Par ailleurs, certaines de ces propositions se heurtent encore à des problèmes techniques comme la mesure exacte et harmonisée du contenu carbone des actifs, ou bien encore la définition quantifiable de « risques climatiques ». Enfin, et là encore, la coordination des actions au niveau international et le rythme de ces politiques de verdissement sont déterminants : un des risques possibles étant d'encourager une décarbonation des bilans bancaires (des banques centrales et des banques de second rang) sur un espace donné plus rapidement que ne se décarbonne l'économie. Une telle option ouvrant la voie à une dévalorisation « forcée » d'actifs (carbonés) encore rentables, facilitant ainsi leur acquisition par des acteurs étrangers moins contraints par les questions climatiques.

Au-delà de ce rôle actif que pourraient jouer les banques centrales dans la transition, il leur faudra, au titre cette fois de leur mandat de stabilité financière, également se prémunir du risque que celle-ci pourrait faire peser sur le système financier. Et ce d'autant qu'il est évoqué comme potentiellement systémique dans les scénarios de transition les plus brutaux et les moins bien anticipés, appelés risques de « cygne vert »⁵⁹. Les estimations de l'ampleur des actifs échoués liés à la transition en France restent néanmoins aujourd'hui à affiner. Mais le secteur financier étant particulièrement internationalisé, il importe également de prendre en compte l'exposition des acteurs du secteur aux contreparties étrangères. Le risque associé aux actifs échoués pouvant en effet advenir via des « effets de second tour », c'est-à-dire par l'interconnexion des banques européennes avec des banques étrangères, elles plus vulnérables⁶⁰.

Dernier grand point du débat relatif aux interactions entre politiques monétaires et politiques climatiques : l'inflation et sa volatilité. Deux visions s'opposent sans qu'aujourd'hui le débat soit tranché. D'un côté, les besoins de financement de la transition, la hausse des prix du carbone et la multiplication des catastrophes naturelles liées au dérèglement climatique pourraient engendrer des chocs à la hausse sur les prix. D'un autre, l'énergie étant une composante importante de l'indice des prix, la transition pourrait engendrer une vague d'innovations favorisant la baisse du prix des énergies renouvelables et une amélioration de l'efficacité énergétique, exerçant ainsi une pression à la baisse sur les prix⁶¹. Sans qu'il soit aujourd'hui possible de déterminer lequel de ces deux effets

⁵⁹ Bolton P., Despres M., Pereira Da Silva L. A., Samama F. et Svartzman R. (2020), *The Green Swan. Central Banking and Financial Stability in the Age of Climate Change*, Bâle, Bank for International Settlements, janvier.

⁶⁰ Battiston S., Mandel A., Monasterolo I., Schütze F. et Visentin G. (2017), « A climate stress-test of the financial system », *op. cit.*

⁶¹ Audition de B. Weder di Mauro du 14 juin 2022.

l'emportera, il est probable que leur combinaison engendre, à court ou moyen terme, une multiplication des chocs et une hausse de la volatilité de l'inflation. Or, aujourd'hui, la plupart des banques centrales des pays développés visent une inflation comprise entre 1 % et 3 % (avec le plus souvent le centre de cette fourchette, 2 %). Des réflexions sont en cours au sein des banques centrales sur la façon de s'adapter à cette nouvelle réalité tout en conservant leur crédibilité⁶². À ce stade, plusieurs options sont envisagées. La première serait de redéfinir de façon pragmatique l'inflation prise en compte dans la communication des banques centrales (qui fixe les anticipations des agents). Alors qu'aujourd'hui, l'inflation globale est souvent privilégiée, il s'agirait à l'avenir d'arbitrer davantage entre une communication sur l'inflation globale et l'inflation sous-jacente⁶³. La deuxième option consisterait à privilégier une communication qui allie, de façon explicite, une cible ponctuelle et une marge de fluctuation plus ou moins large. La troisième pourrait être de clarifier les horizons de temps pour la cible d'inflation à atteindre. En outre, les banques centrales pourraient également définir des conditions (liées au climat ou aux politiques climatiques) dans lesquelles elles s'autorisent à sortir momentanément de la fourchette d'inflation cible définie. Un cas concret pourrait être de s'autoriser à sortir de cette fourchette si des événements climatiques extrêmes chez les plus gros exportateurs agricoles de la planète venaient à arriver simultanément, créant, le temps d'une saison, une inflation mondiale sur les denrées agricoles.

Le rôle de la politique monétaire et la réaction du taux d'intérêt sur les marchés financiers jouent un rôle important dans l'impact macroéconomique de la transition que certains travaux récents tentent d'évaluer (voir encadré 6). Deux points cruciaux ressortent donc de ces analyses propres au secteur financier et à la politique monétaire qu'il conviendra d'intégrer au mieux dans les modèles d'évaluation macroéconomiques. Le premier concerne les impacts de la transition sur le secteur privé via l'intégration des risques induits par les actifs échoués. Si, en première analyse, ce risque semble limité pour les infrastructures sur le sol national, l'exposition internationale du secteur financier français pourrait le soumettre à des risques dont il faudra tenir compte. Le second point concerne les options à la main de la Banque centrale pour agir ou rétroagir face à la transition. Si la question et la nature d'une intervention proactive font encore débat, les questions d'inflation et de taux d'intérêt ne peuvent être éludées. Les hypothèses formulées à leur sujet dans les modèles méritent *a minima* d'être transparentes et de permettre, si possible, la réalisation de tests de sensibilité.

⁶² Batten S., Sowerbutts R. et Tanaka M. (2020), « [Climate change: Macroeconomic impact and implications for monetary policy](#) », in Walker T., Gramlich D., Bitar M. et Fardnia P. (dir.), *Ecological, Societal, and Technological Risks and the Financial Sector*, Cham, Springer International Publishing.

⁶³ L'inflation sous-jacente exclut du calcul de l'indice des prix les éléments dont la volatilité pourrait être accentuée par le changement climatique et les politiques de la transition (comme les prix du pétrole ou des matières premières) et sur lesquelles les banques centrales n'ont pas de prise. À l'inverse, l'inflation globale, si elle est généralement mieux comprise par le public, est davantage sujette aux chocs de volatilité.

Encadré 6 – Politique monétaire et transition climatique dans les modèles

Selon leurs objectifs ou les institutions pour lesquelles elles sont réalisées, les évaluations fondées sur les simulations de modèles appréhendent de façon différente ces interactions entre politique monétaire, risques financiers, changement climatique et transition.

La Banque de France et l'Autorité de contrôle prudentiel et de résolution (ACPR), institutions largement concernées par ces questions, évaluent trois scénarios de risques de transition, à partir d'une suite de modélisations différentes : 1) un modèle économie-climat⁶⁴ définissant les niveaux d'émissions de GES et les niveaux de prix du carbone correspondant à chaque trajectoire, 2) le modèle macroéconomique multi-pays NiGEM, 3) un modèle sectoriel spécifique⁶⁵ qui désagrège ces variables en termes de valeur ajoutée et de chiffre d'affaires pour 55 secteurs économiques et 4) une partie proprement financière qui permet d'obtenir une note financière et probabilités de défaut associées pour chaque scénario⁶⁶. C'est ce dernier module qui permet de distinguer les secteurs gagnants des secteurs perdants (et potentiellement échoués dans les cas les plus adverses) de la transition.

D'autres modélisateurs développent des modules permettant de traiter spécifiquement ces questions. C'est en particulier le cas du Cired, qui développe un module spécifiquement financier au modèle Imacim⁶⁷ mais également de l'Ademe et de l'OFCE pour le modèle ThreeME. Jusqu'à présent, dans les modèles macroéconomiques type Imacim, ThreeME ou Nemesis, l'accent est davantage mis sur l'impact de la transition sur les taux nominaux, l'inflation et les éventuels effets d'éviction. Deux types d'hypothèses se distinguent. La première hypothèse est que le taux d'intérêt réel est supposé exogène et fixe par rapport à son niveau *ex ante*⁶⁸, quelle que soit l'évolution de l'inflation, ce qui implique que les investissements dans la transition énergétique ne conduisent pas à une raréfaction des fonds disponibles (réduisant ainsi les effets d'éviction susceptibles de pénaliser la croissance des autres secteurs mais soulevant la question de l'endettement des agents). L'autre hypothèse consiste à endogénéiser le taux d'intérêt. Des simulations réalisées avec le modèle Nemesis, par exemple, supposent un taux d'intérêt de chaque économie de la zone euro qui varie en fonction des besoins de financement de l'économie : une économie avec de forts besoins d'investissement pour assurer la transition énergétique verra son taux d'intérêt réel augmenter. Ces simulations montrent que cette hypothèse peut conduire à des trajectoires macroéconomiques radicalement différentes d'une hypothèse de taux d'intérêt fixé *ex ante* : à long terme, dans les simulations de Nemesis, la transition énergétique réduit le PIB et l'emploi lorsque le taux d'intérêt réel est endogène, alors que l'hypothèse de taux d'intérêt réel exogène aboutit à un surcroît de PIB à l'horizon 2050.

⁶⁴ Modèle type IAM (*integrated assessment model*).

⁶⁵ Modèle développé par Devulder A. et Lisack N. (2020), « [Carbon tax in a production network: Propagation and sectorial incidence](#) », Banque de France, Working Paper n° 760, avril.

⁶⁶ Allen T., Dees S., Boissinot J. *et al.* (2020), « [Climate-related scenarios for financial stability assessment...](#) », *op. cit.*

⁶⁷ Sur l'intégration d'un module financier stock-flux cohérent au modèle Imacim, des travaux très récents sont en cours. Voir notamment Daumas L. (2022), « [Transition risks, asset stranding and financial instability in a stock-flow consistent model of decarbonation trajectories](#) », Cired, janvier.

⁶⁸ Entre la *baseline* et le scénario de transition.

Conclusion

L'impact macroéconomique de la transition climatique est encore loin d'être appréhendé dans toutes ses dimensions et les modèles dont nous disposons aujourd'hui présentent certaines limites (capacité à représenter les changements de préférences ou les changements structurels à l'intérieur des secteurs, le progrès technique ou encore les instruments de politiques publiques de façon réaliste).

Néanmoins, ces modèles intègrent d'ores et déjà une partie des mécanismes macroéconomiques entrant en jeu dans la transition climatique.

Afin d'éclairer l'élaboration des politiques publiques liées à la transition climatique, un certain nombre de principes sur le protocole d'utilisation des modèles et sur la présentation des résultats doivent être respectés, les principaux étant (voir aussi annexe 3) :

- ne pas se limiter à une analyse en écart variantiel et détailler la description du scénario central dans son ensemble ainsi que les hypothèses sous-jacentes ;
- assurer la transparence sur le contenu et les mécanismes des modèles. Pour cela, les résultats gagneraient à être retranscrits de façon complète dans un cadre macroéconomique simple (équivalent *toy model*) pour bien en appréhender la logique et s'assurer de leur cohérence macroéconomique. En outre, les modèles étant souvent utilisés de façon très différente d'un exercice à l'autre, l'explication des éléments exogènes et des éléments endogènes est indispensable à chaque exercice ;
- détailler les résultats année après année sur un horizon de court-moyen terme (dix ans ou 2030) pour identifier les potentielles sources de friction au démarrage de la transition ;
- tester la sensibilité des résultats à des hypothèses cruciales :
 - le contexte international, à la fois sur les hypothèses d'évolution des prix relatifs et des prix de l'énergie et des matières premières ;
 - les modes de financement des mesures climatiques et les agents qui portent l'endettement (ménages, États, entreprises) ;
 - la politique budgétaire, comprenant le recyclage de la taxe carbone ou de recettes d'enchères dans le cadre de marché(s) de permis ;
 - les règles de politique monétaire mises en œuvre ;
 - les éléments d'évolution structurelle (progrès technique, comportement des agents).

Annexe 1

Participants au groupe de réflexion

- **Jean Pisani-Ferry**
- **Cédric Audenis, Boris Le Hir, Anne Epaulard, Aude Pommeret, Maxime Gérardin, Alice Robinet, Romain Schweizer**, France Stratégie
- **Selma Mahfouz, Thomas Brand**, Inspection générale des Finances
- **Agnès Bénassy-Quéré, Benoît Campagne, Pierre-Louis Girard, Laura Berthet, Logan Gourmand**, Direction générale du Trésor
- **Stéphane Dees, Lionel Fontagné, Annabelle de Gaye**, Banque de France
- **Nicolas Carnot, Matthieu Lequien**, Insee
- **Patrick Jolivet, Gaël Callonnec, Emmanuel Combet**, Ademe
- **Salvatore Serravalle, Alexandre Godzinski**, CGDD
- **Joseph Hajjar, Isabelle Cabanne**, DGEC
- **Antoine Dechezleprêtre, Tomasz Koźluk**, OCDE
- **Dominique Bureau**, CEDD
- **Benoît Leguet, Hadrien Hainaut**, I4CE
- **Xavier Ragot, Xavier Timbeau**, OFCE
- **Cecilia Bellora**, Cepii
- **Julien Lefèvre, Frédéric Gherzi**, Cired
- **Baptiste Boïtier, Pierre Le Mouël, Paul Zagame**, Seureco
- **David Hémous, Katheline Schubert**, autres personnalités qualifiées

Annexe 2

Personnes auditionnées

- **Gaël Callonnec** (Ademe, modèle ThreeME), le 11 avril 2022 – L'impact macroéconomique des scénarios de *Transition(s) 2050*
- **Hadrien Hainaut** (I4CE), le 19 avril 2022 – Présentation du panorama des investissements climat
- **Emmanuel Combet** (Ademe), le 19 avril 2022 – Présentation des scénarios *Transition(s) 2050* de l'Ademe
- **Stéphane Hallegatte** (Banque mondiale), le 10 mai 2022 – Évaluation des coûts échoués au niveau mondial
- **Garth Heutel** (université de Géorgie), le 10 mai 2022 – Leçons des modèles E-DSGE et présentation de la littérature sur la *greenflation*
- **Tommaso Pardi** (Gerpisa, CNRS) et **Bernard Jullien** (université de Bordeaux), le 17 mai 2022 – Impact de l'électrification sur l'industrie automobile en France
- **Xavier Ragot** (OFCE), le 31 mai 2022 – Mécanismes clefs des impacts macroéconomiques de la transition climatique
- **Gauthier Vermandel** (Polytechnique, Banque de France), le 24 mai 2022 – Utilisation des modèles d'équilibre général et des DSGE pour l'étude de la transition économique
- **Joseph Hajjar** (DGEC), le 7 juin 2022 – Présentation du processus d'élaboration et du calendrier de la SFEC
- **Beatrice Weder di Mauro** (Insead, CEPR), le 14 juin 2022 – Politique monétaire et changement climatique
- **Claire Waysand** (Engie), le 14 juin 2022 – Mécanismes économiques de la transition climatique dans le secteur énergétique
- **Thomas Veyrenc** (RTE), le 14 juin 2022 – Comparaison des hypothèses macroéconomiques de la SNBC et des exercices RTE
- **Baptiste Boïtier** et **Pierre Le Mouël** (Seureco, modèle Nemesis), le 21 juin 2022 – Simulations du modèle Némésis pour le NGFS
- **Cecilia Bellora** (Cepii, modèle Mirage), le 28 juin 2022 – Impact macroéconomique des hypothèses de coordination internationale dans le cas de l'évaluation d'impact du CBAM par le modèle Mirage
- **Frédéric Gherzi** (Cired, modèle Imacsim), le 4 juillet 2022 – Présentation du *toy model* KLEM et de l'impact des règles de bouclage
- **Annabelle de Gaye** (Banque de France), le 4 juillet 2022 – Présentation des scénarios NGFS
- **Philippe Aghion** (Collège de France) avec **David Hémous** (université de Zurich), le 5 juillet 2022 – Transition climatique et innovation
- **Antoine Dechezleprêtre** (OCDE), le 5 juillet 2022 – Impact empirique des politiques climatiques sur la performance des entreprises

Annexe 3

Quelques principes méthodologiques d'utilisation des modèles

En premier lieu, il y a un consensus quant à l'insuffisance, pour l'évaluation macroéconomique de la transition climatique, des seuls modèles dits intégrés (IAM), qui incorporent les données techniques de manière fruste car très agrégée. Quant à la nécessité de « grosses » modélisations croisant macroéconomie et approches techniques sectorielles, les résultats de ces modélisations peuvent, de plus, être rendus intelligibles par des maquettes simplifiées (*toy models*). La construction des modèles est alors un processus long, intégrant des expertises techniques, et leur manipulation suppose des itérations entre macroéconomie et briques techniques, permettant leur convergence conjointe vers des trajectoires où visions techniques, système de prix et bouclage macroéconomique sont en cohérence.

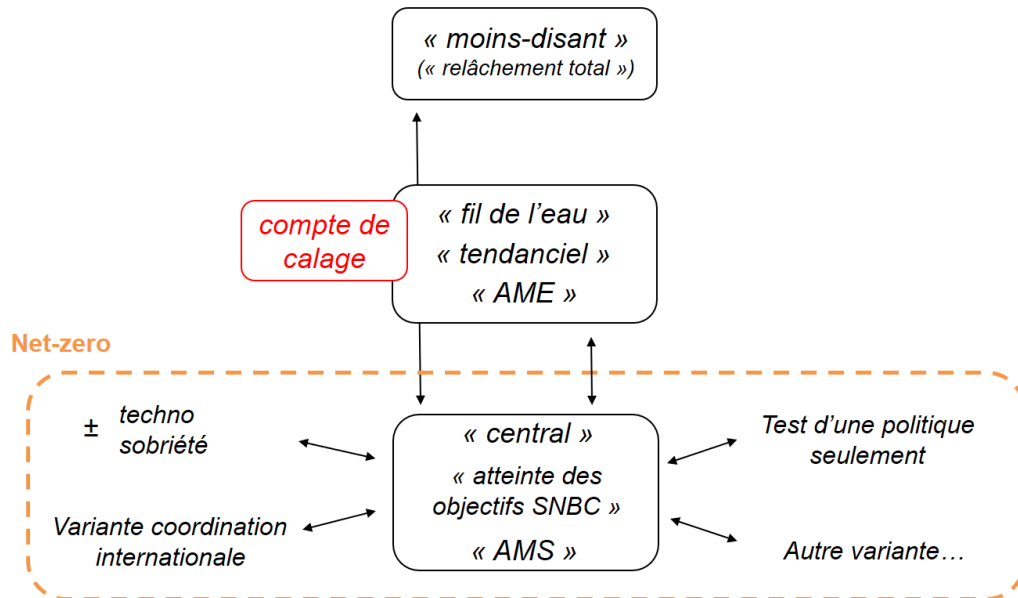
Partant de ce point de consensus, plusieurs recommandations peuvent être mises en avant.

Scénario central

La quête de rationalité dans la conduite des évaluations mène souvent à vouloir poser une « trajectoire de référence », correspondant parfois à une trajectoire « sans mesures climatiques supplémentaires », et à présenter les différences (en matière de PIB, d'emploi, etc.) induites par des trajectoires atteignant les objectifs climatiques, relativement à cette trajectoire de référence. Or il apparaît impossible de poser objectivement une telle trajectoire de référence : elle reposera toujours sur un narratif, fût-il simplifié, et sur des choix. Surtout, les résultats présentés ainsi sous forme d'« écarts variantiels » s'avèrent très souvent difficiles à appréhender – il faut en effet se figurer une différence relativement à une référence qu'on se représente mal, et ceci alors que chacun, légitimement, souhaite avant tout savoir « où la transition nous emmène ». En conséquence :

- le scénario « central » doit être celui selon lequel on se propose d'atteindre les objectifs climatiques. Ce scénario est certes tout aussi précaire qu'une référence « sans action climatique supplémentaire », mais il porte davantage de sens, puisque c'est bien lui qu'on souhaite atteindre ;
- la trajectoire de l'économie dans ce scénario central, telle que résultant tout à la fois du fonctionnement du modèle utilisé et du compte de calage qui lui a été soumis, doit être amplement explicitée, non par différences avec un autre scénario, mais en tant que telle, telle qu'elle se déploie à partir de l'état actuel de l'économie, point de départ connu de tous. La cohérence macroéconomique de ce scénario doit pouvoir être appréhendée par tout destinataire – c'est, idéalement, vers une forme de « guide de lecture des résultats » qu'il convient de tendre ;
- une fois ceci posé, les exercices variantiels d'intérêt sont certes ceux qui comparent le scénario central à la non-atteinte des objectifs climatiques, mais aussi ceux qui le

comparent à l'atteinte des objectifs dans des conditions différentes : parce que le contexte serait différent, ou parce que la stratégie employée serait modifiée, ou encore parce que les paramètres internes du modèle s'avèreraient différents (cadre orange du schéma ci-dessous, et recommandations ci-après).



Source : France Stratégie

Horizons d'analyse

La neutralité carbone est visée à l'horizon 2050. Néanmoins, il est indispensable de réaliser une analyse fine de l'impact économique de la transition dès le court-moyen terme, d'une part en lien avec les horizons quinquennaux des programmations énergie-climat nationales (2023-2028-2033-2038) et les objectifs pour 2030 découlant de « Fit for 55 », d'autre part pour identifier les potentielles sources de friction au déclenchement de la transition.

Transparence sur le contenu et les mécanismes des modèles

Il apparaît nécessaire d'explicitier les « croyances » profondes des modèles mobilisés, notamment quant au marché de l'emploi, à celui des capitaux, etc., et à l'intensité des effets d'éviction sur ces marchés. Cette transparence pourrait être mise en œuvre, par exemple, en testant et en explicitant les réponses de chaque modèle à quelques chocs d'économie générale (chocs sur la politique budgétaire, monétaire, etc.), « orthogonalement » à la transition climatique.

Incorporation des expertises sectorielles

Il est essentiel (voir l'exemple du secteur automobile, développé précédemment) de s'appuyer autant que possible sur les expertises d'ingénieurs et sur des monographies sectorielles – expertises que la modélisation macroéconomique a pour fonction d'intégrer dans des trajectoires macroéconomiques cohérentes. Si certaines expertises peuvent être intégrées par des modèles sectoriels complets, il est parfois nécessaire aussi d'incorporer via des variables exogènes les chocs ou frictions qui ne peuvent être représentés directement dans les modèles.

Comparabilité des exercices

Des données exogènes, de natures variées, sont nécessairement injectées dans les modèles :

- consensus d'experts sur la trajectoire à venir du PIB ou de la productivité du travail, qui contribuent au « compte de calage » guidant les modèles ;
- données exogènes « de contexte » sur la démographie, sur la trajectoire économique des autres pays et sur le commerce international, sur les prix des énergies et matières premières (métaux stratégiques) importées, sur les coûts futurs des technologies énergétiques (éoliennes, etc.) et énergivores (industrie lourde décarbonée), etc. ;
- hypothèses supplémentaires sur la trajectoire future des grands secteurs énergétiques et industriels : dans l'exemple développé précédemment du secteur automobile, elles porteraient principalement sur la stratégie, la consistance et l'évolution du parc automobile, et sur la part des importations dans les ventes de véhicules neufs.

Il convient que l'homogénéité de ces données entre modèles soit assurée dans certains exercices ou au moins que ces données exogènes soient présentées et discutées.

Analyses de sensibilité

De nombreux paramètres ou variables susceptibles d'incidences fortes sur la trajectoire macroéconomique ont une évolution future incertaine. Il importe que ces variables soient traitées comme des paramètres exogènes, et fassent l'objet de tests de sensibilité. Ceci vaut notamment pour :

- le contexte international, notamment les prix de l'énergie et matières premières ;
- la trajectoire de productivité ou de PIB fixé par le compte de calage ;
- les principaux paramètres des fonctions de demande et d'offre agrégées ;
- les règles de politique monétaire mises en œuvre ;
- la politique budgétaire, y compris recyclage de la taxe carbone ;
- les modes de financement des mesures climatiques et les agents qui portent l'endettement (ménages, États, entreprises) ;
- l'intensité du progrès technique sur les principales technologies de transition.

Là aussi, un cadre pour les analyses de sensibilité, commun aux différents modèles, est nécessaire.

Analyses complémentaires

Certaines dimensions d'analyse microéconomique peuvent être séparées de l'analyse macroéconomique, et faire l'objet de volets à part. C'est le cas notamment de l'analyse des inégalités et des effets redistributifs, entre ménages et entre territoires.

RETROUVEZ
LES DERNIÈRES ACTUALITÉS
DE FRANCE STRATÉGIE SUR :



www.strategie.gouv.fr



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



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



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



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



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



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



FRANCE STRATÉGIE

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