

Annuaire du Collège de France

122^e année

2021
2022

Résumé des cours et travaux



COLLÈGE
DE FRANCE
— 1530 —

AVENIR COMMUN DURABLE*

Christian Gollier

Économiste, directeur de la Toulouse School of Economics,
professeur invité au Collège de France

La série de cours « Fin du mois et fin du monde : comment concilier économie et écologie ? », le séminaire associé et le colloque « Efficient climate policies in an uncertain world » sont disponibles, en audio et vidéo, sur le site internet du Collège de France (<https://www.college-de-france.fr/fr/chaire/christian-gollier-avenir-commun-durable-chaire-annuelle/events>). La leçon inaugurale « Entre fin du mois et fin du monde : économie de nos responsabilités envers l'humanité », prononcée le 9 décembre 2021, est également disponible en audio et vidéo (<https://www.college-de-france.fr/fr/agenda/lecon-inaugurale/entre-fin-du-mois-et-fin-du-monde-economie-de-nos-responsabilites-envers-humanite-0>). Celle-ci a fait l'objet d'une publication : C. Gollier, *Entre fin du mois et fin du monde : économie de nos responsabilités envers l'humanité*, Paris, Collège de France, coll. « Leçons inaugurales », n° 306, 2024 [Collège de France/Fayard, 2022]; <https://books.openedition.org/cdf/13522>.

* La chaire annuelle Avenir commun a été créée avec le soutien de la Fondation du Collège de France et de ses grands mécènes la Fondation Covéa et TotalEnergies.

COURS ET SÉMINAIRE – FIN DU MOIS ET FIN DU MONDE : COMMENT CONCILIER ÉCONOMIE ET ÉCOLOGIE¹?

Les générations futures vont subir un changement climatique dont l'intensité dépendra des sacrifices que nous consentirons pour affronter nos responsabilités. Le temps est à l'action ! Certes, mais devant la myriade d'actions pour le climat, quelles sont celles qu'il faudrait rationnellement mettre en œuvre, à quel coût, à quelle intensité, et quand ? S'il est manifeste que nous avons jusqu'à présent privilégié « la fin du mois », jusqu'où aller dans le renforcement de la prise en compte des impacts de très long terme de nos efforts, et de leur soutenabilité ? Jusqu'où aller dans notre confiance dans la croissance économique et scientifique pour résoudre nos maux cumulatifs ? Dans la leçon inaugurale de mon enseignement sur la chaire Avenir commun durable, je cherche à répondre à ces questions en discutant deux outils opérationnels qui déterminent les actions pour le climat qui seront, ou ne seront pas, mises en œuvre : le taux d'actualisation et la valeur du carbone.

Alors qu'il existe un consensus fort sur la nécessité et l'urgence d'agir vigoureusement pour lutter contre le changement climatique, la confusion reste totale tant au niveau politique que des opinions publiques sur la façon d'y parvenir, notamment sur la question d'une adaptation ou d'une révolution de notre système économique actuel. Jusqu'où faut-il sacrifier le pouvoir d'achat des générations présentes pour affronter nos responsabilités envers les générations futures ? Comment concilier un objectif climatique ambitieux avec la justice sociale ? Quelles sont les actions climatiques les plus efficaces, intégrant les impératifs financiers, mais aussi les autres impacts sur le bien-être (impact des éoliennes sur le paysage, risque nucléaire, etc.) ? Comment s'assurer que les actions climatiques les plus efficaces sont bien celles qui seront mises en œuvre en priorité dans notre système économique décentralisé ? En particulier, quel rôle peut-on imaginer pour les acteurs de la finance, les activistes, les décideurs privés et les juges ? Finalement, comment gérer les incertitudes profondes qui entourent la dynamique climatique et les progrès technologiques verts sans lesquels rien ne sera possible ? J'utilise les outils de la science économique pour éclairer ces débats.

1. Ce résumé reprend de larges parties du texte de la leçon inaugurale, publiée sous le titre *Entre fin du mois et fin du monde : économie de nos responsabilités envers l'humanité* (Paris, Collège de France, coll. « Leçons inaugurales », n° 306, 2024 [2022] ; <https://books.openedition.org/cdf/13522>).

COURS 1 - DU SANG, DES LARMES ET DE LA SUEUR : LES COÛTS DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Le 5 janvier 2022

Aujourd'hui, plus de 90 % des Français pensent qu'un changement climatique est en cours, tandis que 80 % d'entre eux le considèrent à tout le moins extrêmement grave. Il n'y a donc plus d'enjeu en France concernant la communication sur les connaissances climatiques. Hélas, cet impressionnant consensus se brise dès l'instant où sont abordées les questions du *qui*, du *quoi*, du *combien* et du *comment*. Les éoliennes, plus personne n'en veut à cause de leur impact sur nos paysages et nos patrimoines. Le nucléaire reste une source d'énergie essentiellement décarbonée mal aimée pour les déchets à haute activité et à vie longue qu'elle engendre. Les biocarburants sont accusés de favoriser l'agrobusiness et de concurrencer la production alimentaire. Le solaire et l'éolien ne pourront massivement se développer tant qu'on n'aura pas levé le verrou technologique du stockage de l'électricité, dans un contexte où les consommateurs ne sont pas prêts à flexibiliser leur consommation d'électricité. L'agrégation des oppositions ne peut conduire qu'à l'immobilisme. De plus, l'intermittence de ces sources d'énergie renouvelable les rend encore onéreuses par rapport à leurs concurrents fossiles, en l'absence de soutien public. La solution *power-to-gas-to-power* utilisant l'hydrogène comme vecteur de stockage conduit à la dissipation de trois quarts de l'énergie primaire utilisée. Même en faisant abstraction de ce problème, alors que le kilowattheure (kWh) nucléaire coûte environ 5 centimes, le tarif de rachat du kWh du parc éolien de la baie de Saint-Brieuc est de 15,5 centimes.

Pour longtemps encore, remplacer des énergies fossiles finalement peu coûteuses, très faciles à utiliser – la quantité d'énergie concentrée dans un litre d'essence est invraisemblable –, et qui ont fait, de plus, la prospérité de l'Occident pendant deux siècles, par des énergies renouvelables intermittentes plus coûteuses à produire et plus compliquées à manipuler va nous obliger à obérer le pouvoir d'achat et le bien-être de nos concitoyens. Il sera difficile de les convaincre, notamment parce que l'essentiel des bénéfices sociaux et environnementaux de ces sacrifices s'étalera sur un temps très long. Si l'on en croit les modèles d'évaluation intégrant modules climatiques et économiques, réduire nos émissions en 2021 devrait conduire à une réduction des dommages climatiques sur plusieurs siècles, et en moyenne dans 80 ans. De plus, ces bénéfices ne seront pas pour la personne, l'entreprise ou le pays qui fait l'effort. Ils bénéficieront à l'ensemble de l'humanité. Cette double tragédie des horizons, temporels et spatiaux, fait du changement climatique le défi le plus pernicieux jamais affronté par l'humanité. Parviendra-t-elle à y faire face ? Ce défi est rendu encore plus hardi par ce que les économistes appellent les « fuites de carbone » : quand un pays décide de pénaliser les émetteurs de dioxyde de carbone (CO₂) sur son sol, certains pourraient être tentés d'aller exercer leurs activités dans un autre pays à l'ambition climatique moins audacieuse. Le résultat, c'est une perte nette en emploi et en prospérité pour le premier, et un bénéfice écologique global nul.

Depuis les travaux d'Arthur Pigou publiés il y a 101 ans, les économistes parlent d'« externalité » lorsque l'action d'un agent a un impact sur le bien-être d'un autre agent sans que cet impact ne fasse l'objet d'une compensation, par un contrat ou par un prix. L'externalité climatique liée à toute émission de CO₂ est caractéristique. Elle implique que, sans intervention, tout effort de réduction des émissions par un agent implique pour lui de supporter 100 % de son coût, mais de ne rien recevoir en retour, le bénéfice étant disséminé sur l'humanité entière dans les siècles à venir. Dans ce contexte d'externalité négative, les économistes anticipent un équilibre où aucun effort ne sera produit, chacun espérant être le « passager clandestin » des efforts des autres. Des motivations intrinsèques étudiées par Jean Tirole, telles que la promotion d'une image positive de soi ou le désir d'estime de soi, peuvent aider à s'écarter de cette prédiction pessimiste d'un *homo economicus* tout-puissant. Mais force est de constater que la réalité des trente dernières années confirme cette prédiction. La conférence de Rio date de 1992, qui correspond à une prise de conscience du phénomène climatique. À l'époque, on émettait 22 Gt de CO₂ par an. Aujourd'hui, on en émet 36 ! L'Europe est la seule région du monde ayant réduit ses émissions depuis l'année de référence, 1990. Cette baisse est de 22 %, encore très loin de l'objectif de 55 % d'ici 2030, à atteindre en seulement neuf années.

En 2010, les ménages qui ont installé des panneaux solaires sur leur toit ont pu bénéficier d'un contrat de prix garanti jusqu'en 2030 à 60 centimes le kWh, alors que le coût de production de ce même kWh par le mix électrique européen n'est que d'environ 6 centimes. Cette substitution coûte donc à la société 54 centimes, mais elle permet d'éviter l'émission de 400 grammes de CO₂ de ce mix. Par simple application de la règle de trois, on obtient que chaque tonne de CO₂ évitée en France par le soutien public au solaire nous a coûté – et coûtera encore jusqu'en 2030 – 1 350 euros. Ce surcoût se retrouve dans notre facture d'électricité à travers la CSPE, contribution au service public de l'électricité. En 2021, elle est de 2,25 centimes le kWh. En 2019, les Gilets jaunes se sont levés pour s'opposer à la hausse de la taxe carbone de 44 à 55 euros par tonne de CO₂ (tCO₂). S'ils savaient qu'ils paient par ailleurs 1 350 euros/tCO₂ dans leur facture d'électricité ! Faut-il que le vrai coût de la transition énergétique soit caché pour qu'elle soit socialement acceptable ?

Il existe une myriade d'autres actions en faveur du climat qui méritent ce type de comparaison des coûts et des avantages. Un rapport récent de France Stratégie suggère qu'en 2025 il en coûtera collectivement encore environ 300 euros/tCO₂ de remplacer une voiture thermique par une électrique. Dans le secteur résidentiel, il existe bien sûr des passoires thermiques dont l'amélioration de l'isolation offre la possibilité d'une panoplie d'actions vertes à faible coût d'abattement, mais beaucoup des politiques actuelles (éco-prêts à taux zéro, crédits d'impôt pour la transition énergétique, certificats d'économie d'énergie) ont hélas un coût par tCO₂ élevé, autour de 350 euros selon certaines études récentes. Plutôt que de mieux isoler, une stratégie de décarbonation de la source d'énergie pour le chauffage est plus porteuse. Par exemple, le remplacement d'une chaudière au fioul par une pompe à chaleur ne coûte que

50 euros/tCO₂. Finalement, un rapport de 2018 du Conseil général de l'environnement et du développement durable indique qu'une fois pris en compte les vies gagnées et l'allongement des temps de déplacement, le coût social de la réduction de la vitesse sur nos routes de 90 km/h à 80 km/h est inférieur à 50 euros/tCO₂.

Comme l'objectif de zéro émission nette passera nécessairement par une électrification de nos économies, il est crucial de décarboner le mix électrique européen. Le charbon, énergie primaire extrêmement polluante, compte pour 80 % dans le mix polonais, et pour encore 45 % dans celui de l'Allemagne. L'alternative au charbon est le gaz naturel, qui émet deux fois moins de CO₂ par kWh produit. En Europe, les moratoires permanents que nous nous sommes imposés dans l'exploration et l'exploitation du gaz de schiste, ainsi que le pouvoir de marché que nous imposent les oligarques russes, rendent le gaz naturel plus cher que le charbon, contrairement au cas des États-Unis par exemple. Il en coûte donc de remplacer le charbon par le gaz naturel dans le mix électrique européen. En comparant les prix du charbon et du gaz naturel appliqués sur le continent au cours de la dernière décennie à la réduction des émissions que permet la substitution d'une source à l'autre, on obtient que ce coût par tonne de CO₂ évitée est d'environ 40 euros. Pourtant, les Polonais et les Allemands ne se sont engagés à sortir du charbon qu'en 2038!

D'autres études existent, qui cherchent à mesurer le coût d'abattement de biocarburants, de la reforestation, du végétarisme, de l'acier et du ciment décarbonés, de la sobriété thermique, des standards d'émission automobile et d'efficacité énergétique des bâtiments, de l'interdiction des vols intérieurs et des chauffetteries sur les terrasses de café par exemple. Il s'agirait dès lors d'établir un « ordre de mérite » de toutes les actions de décarbonation, en les ordonnant de l'action la moins coûteuse par tonne de CO₂ évitée à la plus coûteuse. Ce travail est évidemment extrêmement complexe. Il fut pour la première fois tenté par le cabinet de conseil McKinsey à la fin des années 2000. Il existe donc une myriade d'actions vertes possibles, certaines beaucoup plus efficaces et effectives que d'autres. Force est de constater qu'en Europe comme ailleurs, on a mis en œuvre beaucoup d'actions vertes peu efficaces et peu effectives (comme le solaire en 2010), tandis qu'on a évité d'en réaliser d'autres très efficaces et très effectives (comme la sortie du charbon). Ces erreurs, massives, conduisent à augmenter inutilement la facture globale de la transition énergétique. Dit autrement, avec les mêmes moyens depuis dix ans, on aurait pu atteindre un résultat écologique bien meilleur. La faiblesse de l'évaluation socioéconomique et environnementale, qui est apparue de manière particulièrement flagrante dans l'évaluation de la récente loi Climat et résilience adoptée suite à la Convention citoyenne pour le climat, constitue une des causes de cet échec relatif. Si nous voulons échapper à cette malédiction dans un contexte d'accélération indispensable de la transition écologique, il est urgent de renforcer en France et en Europe nos mécanismes d'évaluation des politiques publiques, comme expliqué dans un rapport de l'Institut Montaigne publié en septembre 2021. En écrivant ceci, je pense à tous ceux qui ont

œuvré dans cette direction, de Marcel Boiteux à Roger Guesnerie, en passant par Dominique Bureau, Alain et Émile Quinet, et bien d'autres encore.

SÉMINAIRE 1 - L'ÉVALUATION DES COÛTS D'ABATTEMENT DANS LE SECTEUR ÉNERGÉTIQUE : APPROCHE MICROÉCONOMIQUE ET PERSPECTIVE SYSTÉMIQUE

Patrick Criqui (CNRS), le 5 janvier 2022

COURS 2 - RÉUSSIR LA TRANSITION : POUR UN PRIX UNIQUE DU CARBONE EN EUROPE

Le 12 janvier 2022

Il est clair que toute politique climatique efficace, c'est-à-dire qui minimise son impact sur le pouvoir d'achat des ménages, se doit de donner la priorité aux mesures qui ont le moindre coût par tonne de CO₂ évitée. Ceci ne peut se faire qu'en fixant un seuil critique de coût d'abattement qui soit tel que seules les mesures qui ont un coût inférieur à ce seuil doivent être réalisées. Appelons ce seuil la « valeur du carbone ». Dès lors que cette valeur est fixée, il suffit aux évaluateurs d'une mesure spécifique de vérifier que le coût net d'abattement de la mesure évaluée est bien inférieur à cette valeur du carbone. Pour résumer, il est proposé de donner une valeur aux choses qui nous sont chères et de vérifier que ce que nous acceptons de sacrifier pour les préserver est bien inférieur à cette valeur. Tout ce qui est vert n'est pas socialement désirable ! Dans un parallèle peut-être quelque peu osé, on a vu durant la crise pandémique combien le refus d'associer une valeur à la vie humaine a empêché tout débat rationnel sur l'intensité ou la durée des confinements, ou encore l'obligation vaccinale. On ne peut prendre de décision collective sur une base rationnelle si l'on est incapable de créer un consensus sur nos valeurs communes.

De nombreuses entreprises industrielles s'engagent dans cette approche pour déterminer leur stratégie d'investissement environnementalement responsable en utilisant un « prix interne du carbone ». Je soutiens ces démarches. Elles traduisent bien une ambition d'entreprise en critère opérationnel de décision. L'idéal serait de pouvoir rendre public ce prix interne du carbone, tout en autorisant une certification avec audit externe. Le monde de la finance est, lui, encore très loin d'adopter une telle approche. Les banques, les compagnies d'assurance, les fonds de pension et les banques centrales dans le monde utilisent des méthodes beaucoup plus frustres d'exclusion ou de « *best-in-class* », souvent loin d'une évaluation rationnelle basée sur une valeur carbone. Le mélodrame sur le statut du gaz naturel et du nucléaire dans le débat sur la taxonomie européenne illustre bien l'opacité de ces méthodes alternatives. Le profit d'une entreprise carbonée ne mesure pas la création de valeur sociétale d'une activité économique. Celle-ci doit défalquer du profit la valeur de ses émissions

de CO₂ (scopes 1 et 2). Avec les nouvelles obligations d'information des entreprises cotées en Bourse, ce calcul devient assez facile à réaliser. Je recommande que les institutions financières qui se qualifient d'« environnementalement responsables » mesurent la création de valeur de chaque actif sur la base d'un prix interne du carbone clairement annoncé. Ceci leur permettra de mesurer une « rentabilité sociale » de chaque actif et de chaque portefeuille possible en vue de déterminer le portefeuille optimal du point de vue du rapport rendement/risque, sous cette nouvelle acception du terme « rendement ». Cette approche conduira à réduire le coût du capital des entreprises les moins émettrices, tout en constituant un outil d'incitation à la décarbonation plus transparent que les approches actuelles. Le problème, c'est que ces portefeuilles environnementalement responsables ne sont pas ceux qui rapporteront le plus aux épargnants et aux investisseurs, sauf si les États en viennent à réellement pénaliser financièrement les entreprises les plus émettrices. Fameux pari !

Le calcul du coût net d'abattement est souvent complexe compte tenu du caractère multidimensionnel des impacts. Considérons deux exemples qui, je crois, parleront à beaucoup d'entre nous. Nous assistons en Allemagne à une importante fronde anti-éolienne, une technologie qui semble aujourd'hui indispensable si nous voulons respecter nos engagements dans les années à venir. Parmi les importants arguments soulevés, il y a le problème de leur impact sur les paysages et les patrimoines. Pour mesurer le mérite de cette technologie, nous devons prendre en considération cet impact sur le bien-être des riverains de la même manière que nous le faisons pour les coûts directement financiers de ces investissements. Mais comment le mesurer ? Les économistes de l'environnement utilisent une méthode d'évaluation qui consiste à identifier l'impact de la pollution – ici paysager – sur le prix des logements. L'idée est que, toutes choses égales par ailleurs, les acquéreurs potentiels dévaloriseront une habitation du montant de l'impact de cette pollution sur leur bien-être. Une étude récente estime ce coût à 5 % de la valeur immobilière dans un rayon d'un kilomètre d'une éolienne. Ce coût doit être intégré au coût complet de l'électricité éolienne, potentiellement en forçant les propriétaires d'éoliennes à indemniser les riverains à ce niveau. Cela aurait pour avantages d'inciter les industriels à mieux choisir les emplacements, mais aussi de contribuer à la résolution du *NIMBY* (*not in my backyard*).

Le sujet du nucléaire est particulièrement central dans notre pays, où les trois quarts de l'électricité proviennent de l'atome. C'est actuellement la seule source effective d'électricité essentiellement décarbonée qui soit pilotable. C'est aussi une source d'électricité très peu coûteuse, de l'ordre de 4 centimes par kilowattheure (c/kWh), en tout cas tant que l'on parle du nucléaire de deuxième génération. Mais le nucléaire de deuxième et troisième génération engendre des déchets nucléaires qui pourraient avoir des impacts importants sur les générations futures s'ils ne sont pas gérés convenablement. Le mérite de l'électricité nucléaire doit donc intégrer cet impact économique et environnemental. Avec Cigéo, la France est en voie d'éliminer cette charge future en construisant à Bure, dans les Ardennes, un site destiné à stocker l'ensemble des déchets à haute et moyenne activité sur l'ensemble de la vie de nos centrales de deuxième géné-

ration. Une fois rapporté son coût de 25 milliards d'euros à la quantité d'électricité produite, il correspond à un surcoût de 0,1 centime par kWh nucléaire. Quoi qu'il en soit, face à une incertitude technologique profonde sur la façon d'atteindre notre ambition climatique, le nucléaire nous offre une voie bien maîtrisée de décarbonation du mix électrique pour quelques décennies encore, le temps de vérifier que nous sommes capables de lever les verrous technologiques qui pèsent sur le plein développement des renouvelables. Il existe une forte valeur d'option à lever ces incertitudes avant de s'engager dans la voie irréversible de la sortie du nucléaire. Cette valeur d'option doit aussi être intégrée dans la mesure du mérite relatif du kWh nucléaire.

Les actions vertes ont d'autres impacts socioéconomiques et environnementaux, comme le renforcement de l'indépendance énergétique, qui nous fait encore tant défaut aujourd'hui dans les secteurs du transport et du résidentiel. Les coûts implicites de la sobriété, comme l'inconfort d'une température ambiante réduite, doivent aussi être monétisés si l'on veut mener à bien un débat collectif rationnel sur ce sujet, en particulier sur la thématique de la décroissance. Mais il existe un impact qui focalise l'opinion publique française plus que partout ailleurs. Je veux parler de l'effet des politiques publiques sur les inégalités sociales. Parce que l'élasticité-revenu de la demande d'énergie en Europe est plus petite que 1, les ménages les plus modestes consacrent une part plus importante de leur revenu à leurs dépenses énergétiques. Ainsi, toute hausse du prix de l'énergie augmente les inégalités sociales. Par exemple, la subvention au solaire et à l'éolien par l'offre de prix garantis largement au-dessus du prix de marché de l'électricité augmente les coûts de production, augmentation qui se retrouve dans la taxe CSPE qui apparaît dans nos factures d'électricité. Cela accroît les inégalités. C'est d'autant plus vrai que cette manne financière dans le secteur solaire bénéficie aux seuls propriétaires de toits où installer les panneaux photovoltaïques, qui appartiennent plutôt aux ménages les plus aisés. De même, les primes pour l'achat d'une voiture électrique bénéficient aux seules personnes capables d'une telle acquisition. Au contraire, l'interdiction des vols intérieurs coûtera surtout aux cadres et aux ménages aisés qui les utilisent. Il est important d'intégrer cette dimension sociale dans l'évaluation de nos politiques environnementales en accordant une valeur à la réduction des inégalités.

Il est difficile d'imaginer une gestion centralisée de la transition énergétique. Imaginez que nous soyons capables de réaliser toutes ses évaluations, des plus macros, comme la sortie du charbon, jusqu'aux plus micros, comme la bascule vers le vélo ou les transports en commun d'une personne habitant en banlieue et n'ayant pas d'horaire fixe. Et voici un exemple cher à Jean Tirole : doit-il acheter ses tomates du marché qui ont été produites en Espagne et transportées en camion frigo, ou celles produites en serre chauffée au gaz naturel près de chez lui ? Comment s'assurer que toutes les actions passant le test d'un coût net par tonne de CO₂ évitée inférieur à la valeur carbone soient effectivement mises en œuvre ? On peut bien sûr imaginer quelques politiques à large spectre évidentes, comme l'interdiction du charbon. Mais, dans la politique de mobilité, comment par exemple différencier un banlieu-

sard qui dispose d'une option facile de transport public d'une personne pour qui cette option est très coûteuse pour des raisons personnelles ou géographiques? Les économistes, dont on dit en général qu'ils ne sont d'accord sur rien, sont assez unanimes pour recommander une approche proposée par Arthur Pigou en 1920 qui consiste à imposer à toute personne ou entreprise de payer la valeur carbone pour toutes les tonnes de CO₂ émises. C'est l'application du principe pollueur-payeur. En nous confrontant à l'obligation de déboursier la valeur carbone si nous refusons de décarboner notre mode de vie, on nous force à pondérer le coût privé de décarbonation avec le bénéfice climatique collectif, ce qui nous conduit à choisir toutes les actions socialement désirables. Face à l'externalité climatique, on annihile les passagers clandestins et on aligne la myriade d'intérêts privés avec l'intérêt général. Une tarification du carbone permet d'actionner tous les leviers de décarbonation disponibles pour tenir un budget carbone donné, par ordre de mérite des coûts, sans mettre quiconque en situation de blocage s'il ne dispose pas encore de solutions pour réduire directement ses émissions. La guerre contre le changement climatique ne se gagnera qu'en impliquant tout le monde, dans une transformation de nos modes de vie et de production. Cette mobilisation générale passe par un prix du carbone, identique pour tous, fixé au niveau de notre ambition climatique collective.

Pour beaucoup de nos concitoyens, il ne se conçoit de politique climatique qui ne soit obligation et coercition. Il s'agit de contrer le consumérisme irresponsable des gens et la poursuite du profit des entreprises par des mesures coercitives visant à réduire leurs émissions, et au-delà. C'est cette volonté illibérale qui associe activisme climatique et anticapitalisme. Mais si le changement climatique constitue probablement la plus grande défaillance des marchés de tous les temps, sa résolution par un prix du carbone permet de préserver une économie de marché qui a démontré sa capacité à améliorer le bonheur des peuples qui l'ont adoptée. Contrôler un prix, c'est agir sur les comportements des gens et les décisions des entreprises, tout en préservant la liberté des uns et des autres. L'approche par le prix du carbone pose un problème d'acceptabilité sociale par manque de culture économique, notamment sur le rôle des prix sur nos modes de vie. En réduisant massivement le prix du livre, Gutenberg a fortement contribué à l'émergence de la Renaissance et de la Réforme en permettant aux gens d'accéder à la connaissance jusqu'alors réservée aux clercs. De la très onéreuse bougie à l'ampoule LED en passant par l'huile de baleine, on a réduit massivement le prix de la lumière et ainsi transformé notre sombre Terre en un astre de lumière. Le blocage des loyers en France a conduit à une grave crise du logement tout au long du xx^e siècle, comme l'ont attesté l'abbé Pierre ainsi que les bidonvilles puis les HLM dans nos banlieues. En Europe, l'essence à la pompe est deux fois plus chère qu'aux États-Unis depuis plusieurs décennies. En conséquence, nos voitures sont beaucoup moins lourdes, énergivores et émettrices. En Grande-Bretagne, l'imposition d'une surtaxe sur les émissions de CO₂ dans le secteur électrique a permis de faire passer la part du charbon dans le mix électrique de 40 % il y a

10 ans à pratiquement rien aujourd'hui, contrairement à l'Allemagne. Le signal-prix, cela fonctionne.

Cette approche du signal-prix est souvent critiquée pour la charge qu'elle impose aux ménages modestes. Effectivement, pensons à ceux qui font de leur voiture leur outil de travail, mal payés, qui habitent dans nos banlieues ou à la campagne, dans des habitations mal isolées. Ceux-là prendront de plein fouet la hausse du prix de l'essence, du fioul domestique ou du gaz naturel induite par le prix du carbone, comme ce fut le cas pour les Gilets jaunes à l'hiver 2019. Mais il est très injuste de critiquer la taxe carbone sur la base de son impact sur les inégalités. Je rappelle que la plupart des autres politiques climatiques accroissent aussi les inégalités. La tarification du carbone a de son côté l'avantage d'engendrer un revenu fiscal dont l'utilisation pourrait être orientée vers la compensation, voire la surcompensation, des ménages les plus modestes. Anticipant ce problème d'acceptabilité sociale de la taxe carbone, les économistes ont longtemps suggéré de cibler ce revenu fiscal sur une baisse équivalente de la fiscalité qui pèse sur le travail peu qualifié, de manière à engendrer un « double dividende », le premier provenant de la baisse des émissions, le second de la réduction des inefficacités sur le marché du travail. Mais aujourd'hui, dans un contexte de défiance du peuple envers les politiques, nous avons besoin d'une transparence totale dans la « tuyauterie fiscale », ce qui suggère de rembourser intégralement le « dividende carbone » aux ménages par un « chèque carbone », qui pourrait être payé anticipativement au 1^{er} janvier. Associer la tarification carbone à une hausse déguisée de la pression fiscale en France est en effet la meilleure façon de faire échouer cette solution efficace.

La tarification du carbone a l'inconvénient de rendre transparent le fait que la transition énergétique va coûter cher. Dans un monde où prévaut l'utopie d'une transition heureuse, créatrice de millions d'emplois bien rémunérés et réductrice de la facture d'électricité, il est effectivement difficile pour un gouvernement de porter cette politique. Les subventions et les subsides sont généralement mieux accueillies, mais c'est oublier que les subsides des uns correspondent aux impôts des autres. Les subventions pour mieux isoler les passoires thermiques, souvent occupées par des ménages modestes, permettent de réduire les émissions tout en réduisant les inégalités. Encore faut-il que les travaux soient efficaces. Plusieurs études suggèrent que c'est loin d'être toujours le cas. En France, les subventions sont payées à l'aveugle sur présentation de la seule facture d'isolation, alors qu'en Allemagne, la subvention dépend de la réalité de l'amélioration de la qualité énergétique du bâtiment rénové.

Tout comme l'externalité climatique n'est pas seule à conduire à la défaillance des marchés, la tarification du carbone n'est pas le seul instrument à utiliser. En l'absence de progrès technique, il sera très coûteux, voire matériellement impossible, de respecter nos engagements climatiques. La recherche et développement (R&D) est donc indispensable. L'anticipation d'un prix élevé du carbone est un incitant fort pour que les entreprises innovent dans le secteur vert. Mais comme le montre très bien Philippe Aghion et coauteurs, cette incitation est insuffisante, pour deux raisons.

Une part importante de la création de la valeur sociétale d'une innovation ne peut être captée par l'innovateur, ce qui réduit son incitation à investir dans la R&D. De plus, dans le cadre de la théorie de la croissance endogène schumpéterienne dont Philippe Aghion est l'éminent spécialiste mondial, il apparaît difficile de réorienter les entreprises spécialisées dans les innovations carbonées vers de la recherche dans le secteur vert. Pour ces deux raisons, il est indispensable que le secteur public soutienne la R&D verte. C'est l'objet des plans de relance post-covid actuellement à l'œuvre partout dans le monde. En France, nous bénéficions en outre d'un plan France 2030 aligné sur cet objectif.

La plupart des actions vertes à fort impact écologique sont des investissements longs : voiture électrique (15 ans), panneaux solaires et turbines éoliennes (20 ans), centrales électriques au gaz (40 ans), centrales nucléaires (40 à 60 ans), etc. Ce n'est donc pas le prix du carbone aujourd'hui qui déclenchera ces investissements, mais la promesse d'un prix élevé du carbone dans les années et décennies à venir. Depuis sa création en 2005, le marché de permis d'émission EU-ETS ne s'est pas distingué comme un mécanisme crédible de tarification du carbone sur le long terme, à cause de la volatilité élevée du prix d'équilibre et des nombreuses interventions politiques opaques sur ce marché. De plus, si une tarification du carbone fondée sur un marché de permis a l'avantage de garantir le résultat en termes de CO₂ émis, elle fait porter sur les acteurs de la transition des incertitudes considérables sur la rentabilité de leurs investissements, le prix d'équilibre des permis étant très difficile à prédire sur des horizons même assez courts de quelques années. Cette incertitude n'est évidemment pas propice à l'investissement. Il faudrait donc que les gouvernements s'accordent sur un prix plancher du carbone sur ce marché, croissant à un taux plancher de 3 % ou 4 % (plus inflation) par an dans les décennies à venir. Avec Jacques Delpla, je propose une stratégie de crédibilisation alternative fondée sur la création d'une Banque centrale du carbone en Europe, indépendante, mandatée par le Parlement européen pour atteindre l'objectif de réduction des émissions et disposant du contrôle des émissions des permis.

SÉMINAIRE 2 - COMMENT INTERPRÉTER L'OPPOSITION À LA TAXE CARBONE ? L'EXEMPLE DE LA FRANCE

Katheline Schubert (Paris School of Economics), le 12 janvier 2022

COURS 3 - INCERTITUDES TECHNOLOGIQUES MAJEURES POUR L'OBJECTIF 2 °C

Le 19 janvier 2022

Les économistes pourraient avoir tort de soutenir une tarification du carbone fondée sur l'approche pigouvienne, c'est-à-dire sur un prix du carbone égal au dommage

marginal. C'est une erreur selon moi, pour au moins deux raisons. Le premier argument est celui de l'extraordinaire incertitude qui pèse sur ce dommage climatique marginal, sur son étalement dans le temps et sur la manière d'en calculer sa valeur présente (taux d'actualisation). Il faut dissiper cette incertitude, et on ne peut le faire que très marginalement en renforçant la recherche dans ce domaine². Par ailleurs, il faut reconnaître ici que les politiques n'ont pas attendu que les scientifiques résolvent leur différend dans cette estimation du coût social du carbone. Ils ont décidé que l'objectif doit être de 2 °C, voire même peut-être de 1,5 °C. Peu importe aujourd'hui de savoir si cet objectif est optimal ou non, autrement dit, s'il égalise le coût marginal d'abatement dans l'économie avec ce dommage marginal si difficile à estimer. La question aujourd'hui est en un sens bien plus simple. À l'objectif de 2 °C correspond un « budget carbone » estimé à environ 1 000 GtCO₂ dans le dernier rapport du GIEC. Les économistes doivent donc aujourd'hui résoudre le problème suivant : quelle est la séquence de prix du carbone d'ici à la fin du siècle qui est compatible avec ce budget carbone ? Du dommage marginal, on passe donc à un prix du carbone comme variable duale à la contrainte carbone. C'est plus simple.

Plus simple, certes, mais pas vraiment moins incertain. Selon que l'environnement technologique futur aura permis ou non d'abattre le CO₂ à faible coût (on peut penser à la fusion nucléaire, à l'hydrogène ou à la capture et séquestration par exemple), ce prix du carbone compatible avec l'objectif de décarbonation fixé par la sphère politique sera astronomique ou dérisoire. La bascule d'une tarification du carbone visant un prix (taxe carbone) à celle visant une quantité (marché de permis) a pour conséquence de faire porter sur les acteurs de la transition des incertitudes considérables sur la viabilité et la profitabilité de leur modèle économique³. Qui peut dire aujourd'hui quel sera le prix du carbone sur les marchés ETS (*emissions trading scheme*) en 2030 pour réduire nos émissions de 55 %, ou pire encore, en 2050 pour atteindre ZEN (zéro émission nette) ? À défaut de dissiper cette incertitude non réductible, nous devrions établir un mécanisme permettant un meilleur partage des risques entre ces acteurs verts et le reste de la société.

Je propose d'offrir à l'ensemble des agents économiques une garantie sur l'évolution future du prix du carbone sur le marché des permis d'émission ETS dans l'Union européenne. Plus spécifiquement, je propose de fixer un prix plancher de 150 euros par tonne de CO₂ en 2024, croissant à 4 % par an. Cette garantie offre une assurance à ces agents, et dissipe une bonne part du *downside risk* de leurs investissements verts, pour les entreprises et pour les ménages. Elle donne de la visibilité longue aux acteurs de la transition. Bien entendu, cette proposition a un coût économique. En effet, s'il

2. Voir par exemple R.S. Pindyck, « The use and misuse of models for climate policy », *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 11, n° 1, 2017, p. 100-114.

3. Ces risques sont considérables. Voir par exemple C. Gollier, « The cost-efficiency carbon pricing puzzle », *TSE Working Papers*, n° 18-952, 2022, <https://www.tse-fr.eu/fr/publications/cost-efficiency-carbon-pricing-puzzle>.

devait advenir que nous découvriions une technologie de décarbonation massive et peu coûteuse dans les décennies à venir, le maintien d'un prix élevé du carbone nous conduira à surpasser notre objectif climatique. Je suis convaincu que c'est un risque économique que nous devrions accepter de prendre pour déclencher dès aujourd'hui une vague massive d'investissements climatiques en Europe. Évidemment, cela n'est réalisable que si nous sommes capables de juguler les fuites de carbone de cette politique pénalisante pour les industries brunes à travers le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières contenu dans le Pacte vert.

SÉMINAIRE 3 - TRANSITION ÉNERGÉTIQUE D'ICI À 2050

Xavier Piechaczyk (Réseau de transport d'électricité, RTE), le 19 janvier 2022

COURS 4 - VERS UNE ÉTHIQUE DE NOS RESPONSABILITÉS ENVERS LES GÉNÉRATIONS FUTURES

Le 26 janvier 2022

Avant de revenir à la question de la valeur carbone selon l'approche pigouvienne, je souhaiterais faire une digression sur une question *a priori* étrangère à celle du climat. Imaginons une société composée de deux classes sociales, la classe aisée disposant de revenus deux fois supérieurs à ceux de la classe modeste. Une politique sociale permet de réduire les inégalités en transférant du pouvoir d'achat des uns vers les autres. Hélas, de tels transferts sont coûteux, par exemple parce qu'ils se font à travers la taxation du travail qui réduit l'incitation au travail. Si un euro extrait d'un ménage aisé ne permet d'accroître le pouvoir d'achat d'un ménage modeste que de 50 centimes, considérons-nous ce transfert comme acceptable ? Accroît-il le bien-être collectif ? Le rapport Stern de 2007 est fondé sur l'idée qu'un tel transfert serait neutre du point de vue de l'intérêt général, la réduction des inégalités qu'il permet compensant exactement la perte de richesse collective qu'il engendre. Le GIEC en 1995, le rapport Lebègue de France Stratégie qui a statué sur cette question en France en 2005, ou encore les prix Nobel Kenneth Arrow et William Nordhaus ont eu une approche fondée sur une aversion aux inégalités plus élevée, puisque ceux-là considèrent que le transfert minimum aux plus pauvres pour compenser la perte d'un euro des aisés ne devrait être que de 25 centimes. Partha Dasgupta, auteur d'un important rapport sur la biodiversité en Grande-Bretagne en 2021, milite quant à lui pour un transfert minimum réduit à 12,5 centimes. Une synthèse de ces prises de position sur notre aversion collective aux inégalités et son lien avec le transfert minimum est présentée dans le tableau 1.

Notre aversion aux inégalités constitue un paramètre clé de nos préférences collectives. Certaines sociétés expriment une aversion aux inégalités plus intense que d'autres à travers des systèmes informels de solidarité familiale ou communautaire, ou des systèmes plus formels de sécurité sociale et d'imposition progressive.

Auteur	Aversion aux inégalités	Transfert minimum	Prime d'assurance maximum
UK Green Book, rapport Stern	1	0,50 €	29 %
GIEC (1995), K. Arrow, rapport Lebègue, N. Stern, M. Weitzman, W. Nordhaus, R.S. Pindyck	2	0,25 €	33 %
P. Dasgupta	3	0,12 €	37 %

Tableau 1 – Aversion aux inégalités. Le transfert minimum correspond au montant minimum en euro qu'un ménage modeste devrait obtenir pour le sacrifice d'un euro d'un ménage deux fois plus riche et qui rende ce transfert socialement désirable. La prime d'assurance maximum est la prime maximum (en % de la richesse) qu'un individu serait prêt à payer pour s'assurer contre la perte de la moitié de sa richesse avec probabilité $\frac{1}{2}$.

De nombreux philosophes, de John Locke à John Rawls en passant par Jean-Jacques Rousseau et Emmanuel Kant, et quelques économistes comme John Harsanyi et William Vickrey, ont contribué au développement de la notion de voile d'ignorance comme principe de justice et d'impartialité. Ils s'appuient sur une expérience de pensée consistant à se mettre dans une position originelle ignorant son identité personnelle pour décider de ce qui est juste. Dans une telle position, sans savoir qui sera riche ou pauvre, le désir de réduire les inégalités se traduit en un problème d'assurance et de réduction de risque. L'aversion aux inégalités s'identifie donc à l'aversion au risque sous le voile d'ignorance. Une préférence sociale devient une caractéristique de préférence individuelle face au risque, sujette à l'observation par préférence révélée, et donc à l'analyse des économistes et des théoriciens de la décision. Par exemple, confronté au risque de perdre la moitié de sa fortune avec probabilité $\frac{1}{2}$, un individu désirant s'assurer contre ce risque serait prêt à payer respectivement une prime de 33 % de sa richesse si son aversion aux inégalités est égale à 2. Le tableau 1 donne la prime maximum pour d'autres niveaux d'aversion. C'est aussi l'aversion au risque qui détermine la détention d'actifs risqués dans les portefeuilles des ménages et des investisseurs. Même s'ils reconnaissent que l'attitude face au risque est très hétérogène dans la population, les économistes et les chercheurs en finance pensent qu'une aversion au risque autour de 2 constitue une bonne représentation du degré d'aversion au risque de nos concitoyens. Dans la suite, je supposerai qu'il existe un consensus collectif pour utiliser une aversion aux inégalités de 2 dans les évaluations socioéconomiques.

Il existe donc une bijection entre inégalité et risque, et entre aversion à l'une et aversion à l'autre. Dans sa réfutation du paradoxe de Saint-Pétersbourg en 1738, Daniel Bernoulli offre une justification intuitive à l'aversion au risque. Elle est fondée sur l'observation selon laquelle plus on est riche, plus l'accroissement d'utilité obtenu d'un florin de richesse supplémentaire est faible. Si un florin peut être une question de vie ou de mort pour les individus au seuil de subsistance, ce florin de plus

n'améliorera pratiquement pas le bien-être des individus très fortunés. Dans le jargon des économistes, l'utilité marginale de la richesse est décroissante. L'assurance est un moyen simple de transférer de la richesse des États du monde où son utilité est faible vers ceux où elle est élevée, c'est-à-dire en cas de sinistre. Plus généralement, sous la loi de l'utilité marginale décroissante, réduire le risque permet d'accroître l'espérance de l'utilité, dont Bernoulli pense qu'elle mesure le bien-être *ex ante*. Cette théorie de l'espérance d'utilité a été renforcée au ^{xx}e siècle par les théoriciens de la décision, dont Oskar Morgenstern et John von Neumann, qui ont donné un fondement axiomatique à cette théorie, laquelle constitue un des socles de la science économique moderne. Au cœur de cette théorie se trouve l'axiome d'indépendance. Il postule que si je préfère une tasse de café à une tasse de thé dans un contexte de certitude, je préfère aussi l'une à l'autre quand cette possibilité de boire une tasse est incertaine, disons avec une probabilité de 10 %. Parce que cet axiome a un contenu intuitif très fort (même si certains ne le respectent pas dans certaines situations, comme l'a montré Maurice Allais, autre prix Nobel d'économie français), la théorie de l'espérance d'utilité combinée avec le principe du voile d'ignorance offre un fondement normatif puissant pour analyser les questions de justice sociale et d'arbitrage entre objectifs d'efficacité productive et de redistribution.

Revenons maintenant au problème de changement climatique et de valeur carbone. Comme expliqué antérieurement, la valeur carbone détermine le niveau d'effort qui sera fait par les générations présentes pour réduire le fardeau des dommages climatiques porté par les générations futures. Réduire cette valeur conduit donc à un transfert de richesse des générations présentes vers les générations futures dont l'évaluation se prête bien à l'approche que je viens de développer. Nous demander des sacrifices pour leur bénéfice, c'est demander aux pauvres de financer les richesses. C'est accroître les inégalités intergénérationnelles. Sous l'hypothèse d'aversion aux inégalités, ou « utilité marginale décroissante », cela réduit le bien-être intergénérationnel. Cette perspective ne peut être socialement désirable que si le bénéfice pour les générations futures est suffisamment plus élevé que le sacrifice présent pour compenser l'impact négatif de cette action sur le bien-être intergénérationnel.

Supposons par exemple que notre économie croisse de 2 % par an dans les décennies à venir. Dans un tel contexte, les revenus auront doublé dans 35 ans. Que devrions-nous être prêts à sacrifier aujourd'hui pour réduire d'un euro un dommage climatique certain dans 35 ans ? En reprenant l'hypothèse d'une aversion aux inégalités de 2 dans le tableau 1, il apparaît que la valeur présente d'un euro dans 35 ans est de 25 centimes. Dans un monde en croissance de 2 % par an, la prospérité s'accumule tellement vite que nous ne devrions pas être prêts à sacrifier plus de 25 centimes aujourd'hui pour réduire un dommage d'un euro se matérialisant dans 35 ans. Sous le voile d'ignorance, sans savoir si j'appartiens à la génération présente ou future, je voudrais que la génération présente ne consacre pas plus de 25 centimes pour accroître la richesse de la génération future d'un euro. Cela correspond à un taux d'actualisation de 4 % ($0,25 = 1,04^{-35}$). Dans une économie en croissance, le taux

d'actualisation est le taux de rendement socioéconomique minimum d'un investissement qui compense son impact sur les inégalités intergénérationnelles.

C'est Franck Ramsey qui, en 1928, traduira cette approche dans une formule qui constitue encore aujourd'hui le pivot de la plupart des débats d'experts sur le taux d'actualisation et la valeur carbone. Cette « formule de Ramsey » stipule que le taux d'actualisation socialement désirable est égal au produit du taux de croissance anticipé de l'économie par le degré d'aversion aux inégalités. Avec un taux de croissance de 2 % et une aversion de 2, on obtient bien un taux d'actualisation de 4 %. Cette formule nous donne un fondement théorique utile pour définir le bon degré de court-termisme dans sa traduction opérationnelle qu'est le taux d'actualisation pour évaluer les projets d'investissements publics et privés. L'utilisation d'un taux d'actualisation constant est particulièrement problématique pour l'évaluation d'actions de long terme ou de soutenabilité compte tenu du caractère exponentiel de l'actualisation, comme le montre le tableau 2. À 4 %, nous devrions valoriser un bénéfice de 1 000 euros se matérialisant dans 200 ans à 39 centimes aujourd'hui. Mais après tout, cela traduit le fait que cette génération future disposera d'une richesse plus de 50 fois supérieure à la nôtre. Si un tel taux devait être utilisé pour déterminer notre politique de gestion des déchets nucléaires, il ne faudrait certainement pas faire construire Cigéo, comme le montre un rapport récent du Secrétariat général pour l'investissement. De même, comme la plus grande partie des dommages liés à nos émissions actuelles de CO₂ se matérialisera dans plus de 50 ans, l'actualisation écrase ces effets et réduit d'autant la valeur carbone.

	1 %	4 %	7 %
100 ans	369,71 €	19,80 €	1,15 €
200 ans	136,69 €	0,39 €	0,00 €
300 ans	50,53 €	0,01 €	0,00 €

Tableau 2 – Valeur présente de 1 000 euros se matérialisant dans *t* années, selon le taux d'actualisation utilisé.

Au lieu de s'intéresser à la valeur monétaire présente d'un bénéfice monétaire futur, on peut s'intéresser aussi à la valeur écologique présente d'un bénéfice écologique futur. Quelle est par exemple la valeur relative de la biodiversité future par rapport à la biodiversité présente? Comment mesurer la valeur d'un capital environnemental engendrant des services écologiques dans le temps long? Si l'on s'intéresse à des services dont on pense qu'ils se détérioreront dans le temps, l'argument de l'aversion aux inégalités se renverse, et nous devrions actualiser ces impacts à un taux négatif, un gain écologique futur étant donc valorisé davantage qu'un gain écologique présent. C'est Roger Guesnerie qui a exploré en premier ce concept de

« taux d'actualisation écologique », qui intègre en fait l'idée que ces services environnementaux verront leur valeur sociétale croître en parallèle avec leur raréfaction. J'ai cherché à étendre ce concept à des situations d'incertitude, en particulier lorsque notre capacité à trouver des substituts possibles à ce capital environnemental est aléatoire. On y trouve des bribes d'une rationalisation du principe de précaution.

SÉMINAIRE 4 - NOS OBLIGATIONS À L'ÉGARD DES GÉNÉRATIONS FUTURES

Marc Fleurbaey (CNRS), 26 janvier 2022

COURS 5 ET 6 - ÉLÉMENTS D'UNE HISTOIRE DE LA PRISE EN COMPTE DU LONG TERME DANS LE CAPITALISME ET APPORTS DES THÉORIES MODERNES DE LA FINANCE ET DE LA CROISSANCE

Les 2 et 9 février 2022

Nos responsabilités envers les générations futures sont naturellement atténuées par la croissance économique, et un taux d'actualisation élevé traduit cette idée en termes opérationnels. Mais tout ceci repose sur l'hypothèse de poursuite de la croissance économique dans les décennies et les siècles à venir. Il est quelque peu facile de se proclamer la génération pauvre pour se défaire de nos responsabilités. C'est d'autant plus vrai que de nombreux économistes, comme Larry Summers ou Robert Gordon, proclament la « fin de l'histoire », c'est-à-dire la fin d'un cycle de deux siècles de l'histoire de l'humanité, faits de découvertes scientifiques majeures et de traductions en une succession de révolutions industrielles. Depuis le milieu du siècle dernier, chaque innovation majeure semble être associée à une révolution économique de moindre ampleur, en écho à Robert Solow qui observait en 1987 qu'on voyait « des ordinateurs partout, sauf dans les statistiques de productivité ». Mais d'autres voix s'élèvent pour proclamer un nouvel âge de croissance grâce à une nouvelle vague d'innovations majeures (ARN messenger, intelligence artificielle, réalité virtuelle, conquête de l'espace, énergies renouvelables quasi gratuites, etc.).

En réalité, notre représentation de l'avenir est par nature entachée d'incertitudes profondes, en particulier pour les horizons temporels les plus longs. L'utilisation de la formule de Ramsey comme référence éthique de nos responsabilités intergénérationnelles est donc totalement inappropriée dès lors que nous reconnaissons ces incertitudes profondes. Il est affligeant de constater qu'elle reste la référence, que ce soit à l'occasion de l'intense débat d'experts qui a eu lieu lors de la publication du rapport Stern en 2007, ou à l'occasion des révisions des taux d'actualisation publics en Grande-Bretagne, aux États-Unis et dans l'Union européenne. Or, par introspection, il est intuitif que ces incertitudes jouent un rôle clé dans notre propension à sacrifier le présent pour l'avenir. Depuis Keynes, les macroéconomistes ont vérifié

empiriquement que lorsqu'ils sont confrontés à une augmentation de l'incertitude pesant sur leur prospérité future les ménages augmentent leur épargne « de précaution ». En d'autres termes, ils désirent transférer un peu plus de leurs revenus vers l'avenir lorsque celui-ci devient plus incertain. Avec Jacques Drèze, Louis Eeckhoudt et d'autres, j'ai montré au début de ma carrière qu'un tel comportement de prudence est optimal lorsque l'utilité marginale de la consommation est non seulement décroissante, mais aussi convexe. Si une telle stratégie est désirable du point de vue d'un individu, elle doit l'être aussi au niveau collectif. Pour accroître les investissements de précaution, il faut réduire le taux d'actualisation qui pénalise le futur. L'incertitude affectant la prospérité future de l'humanité accroît la valeur sociale de toute action permettant de transférer du pouvoir d'achat de façon certaine vers l'avenir.

C'est dans le domaine de la théorie de la finance que s'est développée une analyse de l'impact de l'incertitude sur la valeur des actifs et des investissements. Mark Rubinstein, Robert Lucas, Lars Hansen et plusieurs autres l'ont construite il y a une cinquantaine d'années sur la base de la théorie de l'espérance d'utilité, avec pour objectif d'expliquer le prix des actifs observés sur les marchés financiers. Au départ, ils ont pris l'hypothèse d'un mouvement brownien géométrique pour décrire les anticipations de croissance économique. Cela a conduit à un échec retentissant, malgré l'obtention du prix Nobel pour certains de ces auteurs. En effet, dans une économie de marché, le taux d'intérêt reflète le taux auquel les acteurs économiques devraient actualiser leur projet d'investissement sans risque. Ce taux d'actualisation de marché ne fut que de 1 % en moyenne aux États-Unis durant le siècle dernier, signifiant un degré de long-termisme beaucoup plus prononcé que ce que nous recommandons la formule de Ramsey. Et comme la volatilité historique autour de la tendance observée de croissance de 2 % reste faible en pratique, le taux d'actualisation du modèle de Lucas n'est guère éloigné de celui engendré par l'application de la formule de Ramsey, autour de 3,5 %. Cette forte différence entre le 1 % observé sur les marchés et le 3,5 % prédit par le modèle signe son échec.

SÉMINAIRES 5 ET 6 - L'ACTUALISATION DE LONG TERME, RÉFLEXIONS EN FRANCE / REMARQUES SUR LA FINANCE DURABLE

Aude Pommeret (université Savoie-Mont-Blanc), 2 février 2022 et Augustin Landier (HEC), 9 février 2022

COURS 7 - PRISE EN COMPTE DU LONG TERME PAR UNE HUMANITÉ AU DESTIN PROFONDÉMENT INCERTAIN

Le 16 février 2022

Pour des horizons temporels se mesurant en siècles, il faut penser l'avenir et les incertitudes qui pèsent sur lui de façon nouvelle. Ainsi, si les instituts de prévision

économique sont capables d'estimer avec une bonne précision le *trend* de croissance à 6 mois ou un an, nous devons reconnaître que la tendance de croissance sur la décennie ou le siècle à venir est pour le moins ambiguë. Le modèle est aussi très sensible aux probabilités des événements extrêmes. Comme l'a montré mon coauteur Martin Weitzman, remplacer l'hypothèse de la courbe en cloche gaussienne par celle d'une loi de Student, dont les queues de distribution sont un peu plus épaisses, renverse le paradoxe du taux sans risque. En effet, dans cette représentation de l'incertitude, nous devrions utiliser un taux d'actualisation sans risque beaucoup plus faible que celui observé sur les marchés. En fait, dans un tel contexte, il faudrait accepter de mettre en œuvre tout investissement qui permettrait de transférer des revenus sans risque vers l'avenir, quel que soit leur rendement, et ce malgré le fait qu'en espérance ceux qui en bénéficieront à l'avenir seront plus prospères que nous. L'impact du risque sur la décision socialement désirable l'emporte ici sur toute considération de redistribution intergénérationnelle.

J'ai montré que la persistance des chocs macroéconomiques à venir tend à magnifier les incertitudes qui pèsent sur le long terme. Un changement de régime de croissance, du type des révolutions industrielles que nous avons connues depuis deux siècles, ou au contraire de périodes prolongées de stagnation peut-être séculaire, illustre parfaitement cette notion de persistance des chocs. Leur plausibilité accroît les incertitudes de long terme beaucoup plus que ne le fait le mouvement brownien géométrique traditionnellement utilisé en économie et en finance pour décrire la croissance anticipée. Cela doit nous conduire à favoriser les projets sans risque dont les bénéfices se matérialisent dans un temps plus long. Techniquement, il s'agit d'utiliser un taux d'actualisation plus faible pour ces horizons plus longs. À titre illustratif, imaginons une économie croissant à 2 % par an. Il est possible qu'elle soit en réalité à la veille d'une crise majeure et durable qui imposerait une stagnation économique définitive. Dans ce cas, le taux d'actualisation qu'il faudrait utiliser pour évaluer les politiques publiques et les investissements privés sans risque serait de 4 %, par application de la règle de Ramsey pour des actions à impact immédiat. Mais j'ai montré qu'un taux d'actualisation nul devrait être utilisé pour évaluer les impacts à très long terme. Plus généralement, l'existence d'une incertitude pesant sur les paramètres du processus stochastique gouvernant l'évolution des revenus nous oblige à utiliser un taux d'actualisation plus faible pour des horizons plus longs. Plus précisément, j'ai montré que, dans ce cas, il faut utiliser le taux d'actualisation le plus faible parmi toutes les combinaisons possibles des valeurs des paramètres pour les horizons temporels les plus éloignés.

En d'autres termes, mes travaux dans ce domaine démontrent que les principes orthodoxes de la science économique sont compatibles avec la notion de soutenabilité et la défense de l'environnement quand on reconnaît la profondeur des incertitudes qui pèsent sur le destin de l'Humanité sur cette Terre.

Il reste néanmoins un problème à régler. Dans un monde incertain, nos investissements ont en général des impacts différenciés selon l'évolution macroéconomique.

Nous devrions dès lors valoriser davantage les projets dont les bénéfices sociétaux sont plus importants dans les États à faibles revenus. La plupart des projets ont hélas des bénéfices qui sont positivement corrélés avec le PIB. Une infrastructure de TGV ou une centrale nucléaire supplémentaire sera plus utile quand la croissance est forte. Au contraire, l'augmentation de la capacité des soins intensifs sera particulièrement utile en cas de pandémie contraignant à un confinement récessif. De même, les bénéfices des investissements antisismiques ou anti-ouragan en Haïti ne se matérialiseront qu'en cas de tremblement de terre ou de cyclone, qui auront aussi pour conséquence de réduire massivement les revenus des Haïtiens. Dans le même esprit, tous les investissements d'adaptation au changement climatique partagent cette caractéristique d'offrir une assurance partielle aux risques portés par la population. Ils réduisent les risques collectifs, et accroissent donc le bien-être *ex ante* sous l'hypothèse d'aversion au risque. À espérance d'impact identique, il faut donc valoriser davantage les projets dont les impacts sont négativement corrélés avec la croissance, ce qui se réalise en ajustant le taux d'actualisation au profil de risque des projets. Dans cet esprit, il peut être désirable d'actualiser les bénéfices espérés d'une nouvelle ligne de TGV à 5 %, mais en même temps d'actualiser à 1 % les bénéfices sociétaux d'un projet hospitalier.

Je voudrais analyser quelques instants le cas de Cigéo, projet d'enfouissement pérenne des déchets nucléaires dans les Ardennes. Faut-il dépenser 25 milliards aujourd'hui pour enterrer ces déchets et les oublier, ou entreposer ces déchets éternellement en surface en dépensant 100 millions annuels de frais de maintenance ? Dans cette représentation outrancièrement simplifiée, dès lors que le taux d'actualisation est supérieur à 0,4 %, l'entreposage est la meilleure solution. Bien sûr, cette seconde solution reporte les coûts sur les générations futures, mais engendre aussi des dommages potentiels à l'environnement. Ceux-ci sont marginaux tant que notre pays préserve ses compétences nucléaires et sa gouvernance efficace de sûreté nucléaire. Mais imaginons un instant que notre pays entre dans une période chaotique de son histoire, impliquant une perte de compétence et de contrôle, associée à une chute importante de la richesse. Par rapport à l'entreposage, Cigéo empêche que des dommages sanitaires et environnementaux se matérialisent dans ce scénario chaotique. Cigéo offre donc des bénéfices d'autant plus importants que les revenus seront faibles, ce qui justifie un taux d'actualisation faible. Dans un rapport public récent, j'ai montré qu'il fallait construire Cigéo parce que ce projet est un produit d'assurance dont la valeur dépasse son coût.

Sous mon impulsion, avec le soutien de France Stratégie, la France est actuellement le seul pays au monde à utiliser un système d'actualisation intégrant le risque de façon rationnelle et opérationnelle en ajustant le taux d'actualisation au profil de risque de chaque projet. Ce système vient d'être révisé paramétriquement sous le leadership de Roger Guesnerie. Pour les projets sans risque de long terme, un taux d'actualisation de 1,2 % doit être appliqué. Par contre, pour un projet dont les bénéfices sociétaux sont proportionnels au PIB, un taux d'actualisation de 3,2 % doit être utilisé. Au

contraire, pour les projets dont les bénéfices augmentent de 1 % chaque fois que le PIB baisse de 1 %, un taux de $-0,8\%$ doit être utilisé.

Depuis cinquante ans, la théorie de la finance recommande d'ajuster les taux d'actualisation au profil de risque des projets à évaluer. Malgré cela, nos collègues Philipp Krueger, Augustin Landier et David Thesmar ont brillamment montré que même les plus grandes entreprises mettent rarement en œuvre cette méthodologie pourtant fondée sur des principes moraux et des préférences sociales bien établies. Le maintien d'un taux d'actualisation unique par les autorités publiques de par le monde conduit à un surinvestissement dans les projets les plus procycliques comme les lignes ferroviaires à grande vitesse et un sous-investissement dans les projets ayant une dimension assurantielle, comme les hôpitaux et les normes antisismiques. Cette mauvaise allocation du capital dans l'économie conduit à une perte de création de valeur sociale que j'évalue dans un article de recherche récent à environ 25 %, ce qui est considérable. Pour les générations futures, cela se traduit en une perte massive de richesse espérée et en une augmentation importante des incertitudes qu'elles portent.

SÉMINAIRE 7 - PARTAGE DES RISQUES INCERTAINS

Jean-Marc Tallon (CNRS), le 16 février 2022

COURS 8 - FIN DU MONDE ET FIN DU MOIS : COMMENT CONCILIER ÉCONOMIE ET ÉCOLOGIE ?

Le 23 février 2022

Le temps de l'action est venu. Le changement climatique engendre autant une défaillance des marchés que de nos démocraties qui oblige les États responsables à réaligner la myriade des intérêts privés avec l'intérêt général en imposant un prix uniforme du carbone, sans exemption, et sans hausse de la pression fiscale. Notre ambition climatique collective doit se traduire en politiques simples et transparentes, dans l'efficacité et la justice. Elles doivent permettre de lutter en même temps contre le changement climatique et contre les inégalités sociales. Seule une tarification du carbone remplit ces conditions, avec redistribution intégrale du dividende carbone, en particulier vers les ménages les plus modestes, et avec un ajustement carbone aux frontières pour coordonner le reste du monde sur notre ambition commune, en vue d'un avenir commun durable. L'objectif de $+2\text{ °C}$ est démocratiquement légitime. Le passage de la parole aux actes oblige nos gouvernements, sinon nos entreprises, nos banques, nos assureurs et tous nos concitoyens, à considérer une valeur du carbone de 150 euros par tonne de CO_2 dès aujourd'hui, croissant en espérance à 500 euros en 2050. Il en va de nos responsabilités envers les générations futures.

SÉMINAIRE 8 - LES COÛTS DU CARBONE

Dominique Bureau (Commission de l'économie du développement durable),
23 février 2022

COLLOQUE - *EFFICIENT CLIMATE POLICIES
IN AN UNCERTAIN WORLD*

Le 8 juin 2022

Il existe un fort consensus scientifique parmi les économistes pour recommander d'appliquer le principe pollueur-payeur sur les émissions de CO₂, sans exemption. Par contre, il n'existe aucun consensus sur le niveau du prix du carbone à imposer pour aligner les intérêts des pollueurs avec l'intérêt général. Dans ce colloque, différents experts mondialement reconnus sur ce sujet expriment leur analyse. La plupart de ces travaux suggèrent un prix du carbone bien plus élevé que les estimations issues des modèles intégrés climat/économie des vingt dernières années.

- Thomas Römer : « Introduction » ;
- William Nordhaus (Yale University) : « Climate change policies: The elusive search for the second best » ;
- Rick Van der Ploeg (Oxford University) : « On current and future carbon prices in a risky world » ;
- Gilbert Metcalf (Tufts University) : « The macroeconomic effects of a carbon tax to meet the U.S. Paris Agreement target: The role of firm creation and technology adoption » ;
- Maureen Cropper (University of Maryland) : « What role does the social cost of carbon play in carbon pricing? » ;
- Michael Greenstone (University of Chicago), Second keynote lecture on carbon pricing : « A data-driven approach to estimating climate damages and the social cost of carbon » ;
- Christian Gollier : « The cost-efficient carbon pricing puzzle » ;
- Derek Lemoine (University of Arizona) : « Informationally efficient climate policy » ;
- Ben Groom (University of Exeter) : « Social value of Offsets » ;
- Ottmar Edenhofer (Potsdam Institute for Climate Impact Research) : « Putin's war, distributional justice and climate policy options: Lessons from an optimal taxation model for Germany » ;
- Christian Gollier : « Concluding remark ».