

FONDATION POUR LES ÉTUDES ET RECHERCHES SUR LE DÉVELOPPEMENT INTERNATIONAL

Vers une politique du climat réaliste et efficace : à la lumière de la théorie des jeux¹

Frédéric BABONNEAU

Alain HAURIE

Marc VIELLE

- ➔ Frédéric BABONNEAU est vice-président de la société ORDECSYS et chercheur au Laboratoire d'Économie Urbaine et de l'Environnement (LEURE) de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Suisse.
- ➔ Alain HAURIE est professeur émérite de l'Université de Genève et professeur associé de l'École des hautes études commerciales de Montréal. Il est aussi Président et Directeur de la société de conseil ORDECSYS, basée à Genève, Suisse.
- ➔ Marc VIELLE est économiste au Laboratoire d'économie urbaine et de l'environnement (LEURE) de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Suisse.

La vingt-et-unième Conférence des Parties (COP21) à Paris, en novembre dernier, a débouché sur un accord qui s'appuie en partie sur une approche où les pays poursuivront des engagements volontaires non contraignants. Bien que cet accord constitue une nouvelle étape sur la longue et difficile route des négociations climatiques, de l'avis de tous, le compte n'y est pas.



1. Les auteurs remercient Jaime de Melo pour ses commentaires avisés qui ont conduit à une amélioration notable de ce commentaire.



.../... Les engagements formulés dans les INDCs (Intended nationally determined contributions) ne sont pas suffisants pour espérer limiter le réchauffement climatique à 2°C. La récente publication *Vers une politique du climat réaliste et efficace*², à laquelle un ensemble d'experts a contribué et qui s'adresse à un public de non-initiés, fait l'inventaire des principaux points de blocage et présente des recommandations politiques en vue de parvenir à une politique du climat réaliste et efficace.

Selon ces experts, les problèmes de partage de la charge et d'équité contribuent en grande partie à expliquer le manque de volonté politique. Dans leur chapitre introductif, Scott Barrett, Carlo Carraro et Jaime de Melo indiquent clairement que « *les pays n'accepteront de réduire leurs propres émissions de gaz à effet de serre (GES) que s'ils sont convaincus que la charge liée à cet effort est équitablement répartie entre toutes les régions de la planète* ». Il est donc crucial, toujours selon ces auteurs, d'adopter dans des négociations à venir, une approche qui permette d'éloigner les pays d'un comportement non-coopératif, fondée sur l'intérêt de chaque partie, pour les attirer vers un comportement pleinement coopératif.

Ce constat nous amène à réfléchir au défi climatique posé au concert des nations, en des termes de la théorie mathématique des jeux³. Nous utiliserons en particulier le paradigme de jeu non coopératif avec contraintes couplées, proposé en 1965 par le mathématicien améri-

cain J.B. Rosen⁴. L'objet de ce commentaire est de montrer que la complexité de la définition d'une politique du climat réaliste et efficace, peut être structurée en utilisant ces concepts de la théorie mathématique des jeux, ce qui peut fournir une compréhension plus précise des enjeux et des options dans la définition d'une politique climatique internationale. Dans quelques publications récentes⁵, nous montrons comment ces modèles peuvent servir les négociations dans la définition d'accords réalistes, équitables et mesurés en terme de coûts économiques. Ils s'appuient 1) sur la définition d'un budget global d'émissions compatible avec l'objectif de 2°C, 2) sur le partage, à l'issue de négociations, de ce budget entre les différentes parties, iii) sur une stratégie d'exploitation non-coopérative (c'est à dire, concurrentielle) par chaque groupe de pays, de son budget alloué avec pour objectif de maximiser le bien-être de sa population et iv) par la mise en place de marchés du carbone. Revenons en détail sur chacun de ces éléments.

Tout d'abord, expliquons comment le concept de « jeu non-coopératif avec contrainte couplée » s'impose naturellement dans le contexte des négociations climatiques. Dans le chapitre 2 du livre, Thomas Stocker rappelle les données scientifiques concernant les changements climatiques. Retenons en particulier l'élément suivant qui est déterminant⁶: [...] « *La relation quasi linéaire entre le réchauffement moyen de la surface planétaire d'ici la fin du 21^e siècle et le total cumulé*

2. Sous la direction de Scott Barrett, Carlo Carraro et Jaime de Melo, *Economica*, 2015.

3. La théorie mathématique des jeux, trouve son origine dans des mishnas du Talmud de Babylone, à propos d'un problème de partage d'héritage contesté, la correspondance entre Blaise Pascal et le Chevalier de Méré sur le Problèmes des partis, c'est-à-dire le partage des mises d'une partie interrompue par l'arrivée du Roi, puis l'ouvrage fondateur de Oscar Morgenstern et John von Neumann, *Theory of Games and Economic Behavior*, publié en 1944 qui développe et généralise les travaux précurseurs de Emile Borel et de Jean Ville, publiés en 1938. Elle est devenue un des outils privilégiés pour le développement de théories économiques, comme en témoignent les nombreux prix Nobel d'économie décernés à des spécialistes de ce domaine (par exemple, Jean Tirole).

4. J.B. Rosen (1965). Existence and uniqueness of equilibrium points for concave n-person games, *Econometrica*, vol. 33, issue 3, pp. 520-534.

5. Alain Haurie, Frédéric Babonneau, Neil Edwards, Phil Holden, Amit Kanudia, Maryse Labriet, Barbara Pizzileo and Marc Vielle. Fairness in Climate Negotiations: a Meta-Game Analysis Based on Community Integrated Assessment; in Willi Semmler and Lucas Bernard, editors, *The Oxford Handbook of the Macroeconomics of Climate Change* 2015.

Frédéric Babonneau, Alain Haurie and Marc Vielle. A robust meta-game for climate negotiations. *Computational Management Science*, vol. 10, issue 4, pages 299-329, 2013.

Frédéric Babonneau, Alain Haurie and Marc Vielle. Assessment of balanced burden-sharing in the 2050 EU climate/energy roadmap: a metamodeling approach. *Climatic Change*, vol. 134, issue 4, pp. 505-519, February 2016.

6. Page 48 op.cit.

des émissions de CO₂ depuis l'ère industrielle (GIEC, 2013b) constitue un nouvel élément essentiel. Plus les émissions cumulées seront conséquentes, plus la température maximale sera élevée au 21^e siècle»... Ainsi, même si la dynamique du climat est constituée d'un ensemble complexe de rétroactions entre des phénomènes concernant les océans, l'atmosphère, les glaces, les nuages, les aérosols etc, en ce qui intéresse le public et donc le politique, tout se résume en l'existence d'un budget global d'émission de gaz à effet de serre à ne pas dépasser d'ici la fin du 21^e siècle. Le « système Terre » impose donc une obligation à l'ensemble de tous les émetteurs de carbone de respecter un budget global d'émission. Même si les acteurs ne veulent pas coopérer, ils restent cependant soumis à cette obligation. Il s'agit d'une contrainte couplée que tous les émetteurs, collectivement devront satisfaire. Les nations devront donc négocier un partage de ce budget global d'émission de carbone qu'il reste à définir.

Quand on déclare vouloir limiter l'augmentation de la température maximale au cours du 21^e siècle à 2°C, on déclare, implicitement donc, que l'ensemble des émetteurs devront respecter un budget d'émission de carbone⁷: [...] « *pour espérer raisonnablement maintenir le réchauffement mondial moyen au-dessous de 2°C, il faudrait que la quantité totale maximale de carbone émise dans l'atmosphère depuis la fin du 19^e siècle ne dépasse pas environ 1 000 milliards de tonnes. En 2014, on atteignait déjà 545 milliards de tonnes. Il ne resterait donc plus que 455 milliards de tonnes à émettre pour atteindre cet objectif* »... Il y a, évidemment, une marge d'erreur. Mais le constat est que la science du climat a débouché sur un concept décisionnel très simple: Il existe un budget carbone limité qui doit être partagé équitablement entre les pays ou agents émetteurs. Nous voilà de nouveau face à un problème de partage, similaire à ceux qui ont été à l'origine de la théorie mathématique des jeux. Les pays exploiteront la part du budget qui leur sera attribuée pour réa-

liser leur développement économique, accompagné d'une transition énergétique permettant l'établissement d'une économie sans émission atmosphérique de carbone à la fin du 21^e siècle. L'utilisation de ces budgets se fera en concurrence entre les différentes économies mondiales et donc de manière non-coopérative. Il est donc important à ce stade d'être en mesure de simuler ces comportements non coopératifs et d'évaluer les impacts économiques d'un partage d'émissions donné. Les résultats de ces simulations viendront ainsi guider la façon dont seront partagés les droits émissions. L'application de la théorie mathématique des jeux, dont on donne une illustration ci-après, fournira ainsi une aide à la négociation.

Les droits d'émission auront une valeur économique qui sera révélée par l'établissement d'un ou plusieurs marchés du carbone. Roger Guesnerie, dans le chapitre 9 rappelle que⁸: [...] « *Pour cela le savoir économique suggère fortement la mise en place d'un système dit de « cap and trade ». L'objectif mondial de l'année n prend la forme d'un quota global, décliné en quotas pour chaque participant* »... Robert Stavins dans le chapitre 20 montre l'intérêt de construire ainsi une liaison entre les politiques régionales, nationales et internationales. Si le marché international de permis d'émission permet à chaque pays d'effectuer du placement et de l'emprunt de titres, « banking and borrowing », la décision stratégique d'un pays sera le quota qu'il s'octroie en année n, sachant que son budget global d'émission carbone au cours du 21^e siècle est limité. En d'autres termes, chaque pays doit définir le rythme auquel son budget de permis d'émission sera consommé. Pour une année donnée, la quantité totale de droits d'émission mise sur le marché déterminera alors le prix des droits. Certains pays seront alors vendeurs de droits d'émission et d'autres seront acheteurs. Les pays détermineront ensuite leurs niveaux annuels d'émissions de manière à maximiser le bien-être de leur population, que

7. page 49 op.cit.

8. page 125, op.cit.

l'on peut considérer, en première approximation, comme étant lié au niveau de consommation *per capita* et à la taille de cette population. D'autres indicateurs socio-économiques peuvent être calculés par le truchement de la théorie des jeux et ainsi contribuer à évaluer l'équité d'un accord climatique de partage d'émissions.

La question de l'équité est en effet centrale à toute négociation climatique. L'importance de l'énergie fossile comme moteur de nos économies, son utilisation quasi consubstantielle de tout développement économique rend bien évidemment difficile tout accord visant à limiter son usage pour les pays émergents et en voie de développement. C'est ainsi l'objet de la partie 6 du livre intitulée « répartition de la charge et développement ». Le protocole de Kyoto avait acté cette situation en limitant les seuls engagements contraignants aux pays industrialisés. Vingt ans après, il apparaît évident que l'ampleur des réductions nécessaires requiert une participation de tous les états. La participation des pays en voie de développement reste cependant conditionnée à des transferts qu'ils soient financiers, technologiques ou d'aides au développement et à l'adaptation face au changement climatique. L'attrait de la mise en place d'un marché de permis d'émissions est qu'il permet d'intégrer un mécanisme incitatif en faveur de ces pays par le biais d'une allocation « généreuse » des droits d'émissions. La solution d'équilibre doit satisfaire une condition d'équité qui peut très bien être le fruit de la négociation internationale. Remarquons pour exemple que le partage des réductions d'émissions au niveau européen a résulté d'un processus similaire, où la situation existante au regard des émissions de GES, les perspectives de développement, la richesse économique sont des éléments qui ont été retenus pour fixer la répartition par états des réductions à atteindre. La notion d'équité doit donc marier plusieurs critères. Les chapitres de la cinquième partie de l'ouvrage en déclinent les composants couvrant l'incidence plus forte du changement climatique

plus élevée dans les pays pauvres (chapitre 26 de Hallegate *et al.*), une compensation pour un frein à la déforestation (chapitre 28 de Angelsen), et les villes dont la construction absorberait 65% du budget carbone d'ici à 2030 (chapitre 30 de Bigio).

Examinons maintenant les enseignements que l'on peut tirer de la résolution d'un tel jeu. Dans plusieurs articles, nous avons présenté les résultats de la simulation d'une telle négociation, simulation réalisée à l'aide du modèle d'équilibre général calculable GEMINI-E3⁹. La conclusion est que coût économique mondial cumulé (c'est-à-dire sur l'ensemble de la période) d'une telle politique se chiffre à quelques points seulement de produit intérieur brut (PIB). Plus précisément, les analyses les plus récentes qui sont présentées en Juin 2016 à la 39^e conférence internationale de l'IAEE à Bergen, sont résumées pour 11 pays (et groupes de pays) dans le graphique ci-dessous. Les résultats illustrent un exemple de partage d'émissions « équitable » sur la période 2016-2050 pour un budget compatible avec l'objectif de réchauffement limité à 2°C à la fin de notre siècle. Ce budget est estimé ici à environ 305Gt de carbone. L'approche adoptée pour définir le partage est celle de Rawls, c'est à dire que l'on minimise le coût économique le plus élevé entre les pays. En d'autres termes, cela revient à égaliser les efforts de l'ensemble des acteurs. Le coût actualisé associé sur l'ensemble de la période est ainsi limité à 0.8% du PIB pour chacune des nations (ou groupe de pays). Les principaux bénéficiaire d'un tel accord, en terme de permis, seraient la Chine avec 22.5% du budget et les États-Unis avec 14.1%. A titre de comparaison, l'évaluation des impacts économiques induits par les INDCs aboutit à un coût économique proche de zéro avec d'importantes disparités

9. Pour une description détaillée du modèle GEMINI-E3, voir A. Bernard and M. Vielle, GEMINI-E3, a general equilibrium model of international – national interactions between economy, energy and the environment, *Computational Management Science*, Volume 5, number 3, May 2008, pp 173-206.

entre les nations (par exemple, un coût de 0.09% du PIB pour les États-Unis et un gain de 0.11% du PIB pour la Chine). La faiblesse de ces coûts apporte la preuve, s'il en fallait, du manque d'ambition de la communauté internationale dans les engagements formulés dans les INDCs.

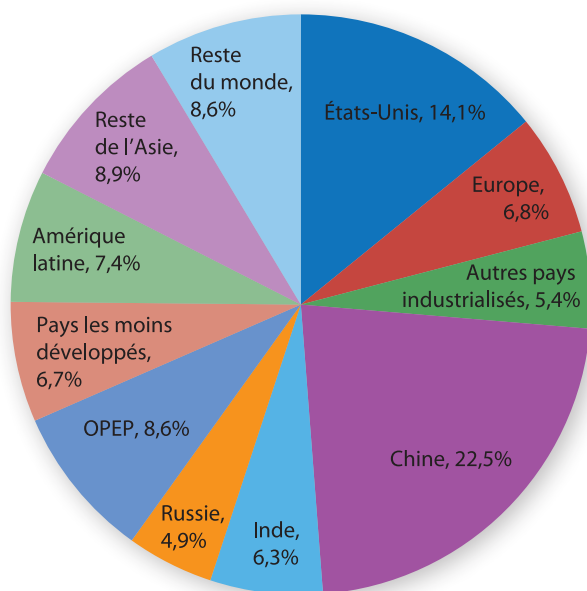


Figure 1. Exemple de partage d'émissions « équitable »

Bien que les coûts calculés dans le cadre d'un accord contraignant apparaissent supportables, ils cachent néanmoins des disparités importantes au niveau des individus et des secteurs économiques. La décarbonisation de nos économies s'accompagnera de l'abandon de pans entiers d'industrie qui avaient assis leur développement sur l'énergie fossile. Au contraire d'autres industries et technologies verront le jour et seront source de développement. Les ménages feront face à une situation comparable. Ceux qui, par exemple, sont très dépendants pour leur mobilité de la voiture ou qui travaillent dans des industries charbonnières devront faire des efforts pour s'adapter. L'accompagnement de la transition sera donc essentiel pour lever tout point de blocage. Au niveau des états, l'allocation des budgets d'émissions permettra de tenir compte

de ces différentes positions face à une transition vers des économies à zéro carbone. Les pays producteurs de pétrole se verront attribuer des quotas substantiels pour compenser les pertes de revenus liées à la fin de l'âge du pétrole. Les pays en voie de développement bénéficieront aussi de budget d'émissions permettant de faciliter un développement économique sans émissions de GES.

En résumé, en négociant une répartition du budget global entre les parties à un accord international, on influe sur la définition du jeu non-coopératif qui devra être joué par les participants en concurrence. La négociation revient à résoudre un problème de conception optimale (« optimal design ») du jeu climatique international. Par exemple, les négociateurs doivent concevoir le jeu, en allouant une part du budget global d'émissions cumulées à chaque groupe de participants, de telle manière que, dans l'équilibre résultant de l'utilisation optimale de ces droits d'émission, les pertes de bien-être, par rapport à une situation sans contrainte climatique, tendront à être similaires¹⁰. Les choix technologiques existent pour réaliser une transition vers un système énergétique durable et décarboné. Ils concernent, entre autre, les sources d'énergies renouvelables variables, les développements conjugués de la mobilité électrique et des réseaux intelligents, la capture et séquestration du carbone, comme indiqué par les auteurs de la partie 5 de l'ouvrage.

Les outils d'aide à la négociation basés sur la théorie des jeux sont donc prometteurs pour définir une politique climatique internationale ambitieuse. S'ils peuvent contribuer à lever certains points de blocage dans les négociations, ils ont également leurs limites. En premier lieu, le marché international de droits d'émission évoqué plus haut en est un des paradigmes les plus simples à formaliser, mais pas nécessairement le plus simple à établir. De plus, dans notre vision

10. Cela revient aussi à chercher l'allocation qui minimise la plus grande perte de bien-être (critère de Rawls).

schématisée d'une concurrence entre les nations exploitant leurs parts du budget global d'émission, on suppose un transfert de technologies sans entrave, tel que recommandé par Heleen de Coninck et Shikha Bhasin dans le chapitre 31 de l'ouvrage. Jean-Charles Hourcade au chapitre 34 rappelle que : [...] « *la finance, la principale contrainte héritée de la crise de 2008, doit impérativement faire partie intégrante de la solution* »... Avec les autres auteurs de la partie 7 de l'ouvrage il indique les différents instruments financiers dont la création d'actifs financiers protecteurs du climat (« climate remediation assets ») pour soulager les investisseurs de long terme confrontés au dilemme de « l'âne de Buridan », ces actifs facilitant l'accès à une société décarbonée.

Au-delà de ces limites, il faudra repenser l'architecture des institutions visant à réduire les émissions de GES ainsi que la gouvernance plus généralement. Ce chantier est l'objet des contributions dans la partie 3 de l'ouvrage qui réunit des contributions de juristes et politologues. Dans le chapitre 13 Wiener s'interroge sur les avantages et inconvénients de rendre juridiquement contraignant les dispositions de mesure, notification et vérification envisagées dans l'accord. Une responsabilisation renforcée pourrait entraîner un changement de comportement, les États étant davantage susceptibles d'honorer leurs engagements si leurs actions peuvent être observées. Cette transparence accrue aiderait à mieux cerner la comparabilité des engagements qui, comme le montrent Aldy et Pizer dans le chapitre 12 sont difficiles à comparer. Dans le chapitre 16, Mavroidis et Melo proposent des réformes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) visant la mise en place d'un « contrat positif » laissant moins de manœuvre aux pays que sous le « contrat négatif » actuel. Dans ce nouveau contrat, l'étiquetage des technologies à haut rendement énergétique serait accepté ainsi que des mesures limitant la subvention des combustibles fossiles. Alors, les règles commerciales ne viseraient plus simplement à libéraliser

le commerce, mais aussi à réduire les émissions. En l'état, les règles présentent des obstacles juridiques aux propositions d'un club climat dans un accord plurilatéral qui s'appuierait sur des droits de douane imposés par les membres du club aux non-participants à une taxe carbone adoptée par les autres membres.

Pour conclure, le livre *Vers une politique du climat réaliste et efficace* présente de manière simple et illustrée les options, opportunités et difficultés liées aux négociations climatiques et à l'établissement de politiques internationales équitables. La schématisation de cet ensemble d'éléments interconnectés en un problème de jeu dynamique non-coopératif, avec un budget global d'émission à respecter, permet d'effectuer une première évaluation, à grands traits, des possibilités de réussite dans l'établissement d'une politique climatique réaliste et efficace. Dans les publications déjà citées, nous avons rapporté le résultat de simulation de solutions d'équilibre équitables qui conduisent à des pertes relatives de bien-être, égalisées d'un ordre de grandeur de quelques pourcents de produit intérieur brut pour les différents participants. Ces résultats sont encourageants, ils incitent à exprimer un certain optimisme quant à la possibilité de notre société à gérer, de manière congruente, le réchauffement climatique et le développement à l'aide d'une politique réaliste et efficace tel qu'esquissé dans le livre de Scott Barrett, Carlo Carraro et Jaime de Melo.



Créée en 2003, la **Fondation pour les études et recherches sur le développement international** vise à favoriser la compréhension du développement économique international et des politiques qui l'influencent.



Contact

www.ferdi.fr

contact@ferdi.fr

+33 (0)4 73 17 75 30

n° ISSN: 2275-5055

