

# CIRED

Centre international de recherche  
sur l'environnement  
et le développement

laboratoire commun

CNRS

EHESS

École des ponts

AgroParisTech-ENGREF

CIRAD



## Faut-il agir aujourd'hui face au changement climatique ? L'apport des modèles intégrés

Minh Ha-Duong et Jean-Charles Hourcade

Que faire vis-à-vis du changement climatique ?

Au vu de la gravité potentielle des risques globaux,

doit-on déclencher des politiques drastiques de baisse

des émissions de gaz à effet de serre de façon urgente ?

Compte tenu des coûts de ces politiques et des

incertitudes sur la réalité des risques, doit-on au contraire

repousser l'action dans le temps ? Les efforts de réduction

des émissions sont-ils un bon usage des ressources rares,

quand leur enjeu n'est que de gagner quelques degrés

de température tandis qu'il existe aujourd'hui d'urgents

besoins de développement pour faire reculer la pauvreté ?

Une des priorités du CIRED est de clarifier les termes

du débat afin d'éviter qu'il ne devienne une source

de conflit qui paralyserait toute action significative.

Pour ce faire, le laboratoire a élaboré des modèles dits

« intégrés » qui permettent d'étudier la réponse optimale

à adopter en reconnaissant l'ampleur des incertitudes

et la vigueur des controverses qui caractérisent ce dossier.



## ► La modélisation sous incertitude

Afin de définir le rythme optimal de réduction des émissions de gaz à effet de serre et d'éclairer les décisions à adopter pendant les trois prochaines décennies, les modèles projetés à l'horizon 2100 intègrent quatre variables : la croissance économique, le cycle du carbone, le climat et les coûts d'abattement des émissions. La difficulté consiste à prendre en compte les grandes incertitudes concernant les conséquences du changement climatique, le coût des mesures d'abattement et la croissance à long terme. Il faut aussi considérer les controverses qui expriment des différences d'opinions et de valeurs dont l'analyste ne peut que prendre acte.

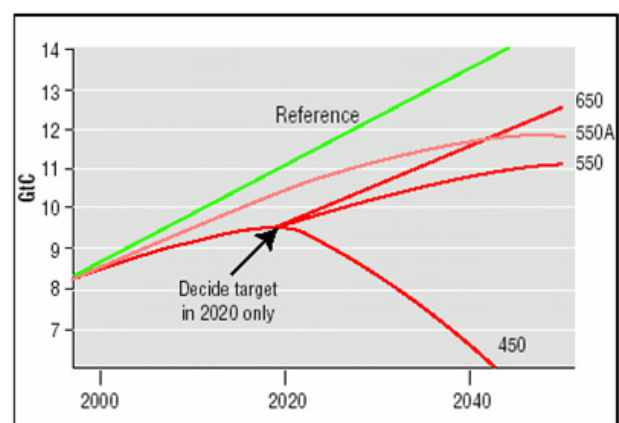
Pour traiter scientifiquement cette situation d'incertitude radicale, les modèles développés sont des modèles de contrôle optimal stochastique. Ils supposent un schéma de décision séquentielle où sont examinées les politiques de court et moyen terme sous l'angle de leur valeur d'option, à savoir leur capacité à autoriser des révisions ultérieures au fur et à mesure que la connaissance progresse. Ils calculent une stratégie d'émissions qui maximise l'intérêt collectif sur le très long terme en supposant une date donnée à partir de laquelle les incertitudes seront résolues. Entre aujourd'hui et cette date, ces modèles attribuent des probabilités subjectives quant au niveau des risques futurs.

Ces probabilités peuvent aussi être interprétées comme le pourcentage d'optimistes, de neutres et de pessimistes dans une population. La solution fournie par ces modèles est alors celle qui serait proposée par un planificateur bienveillant, mandaté par une population divisée sur la réalité des risques mais où chacun aurait la sagesse d'admettre que l'autre puisse avoir raison.

## ► Soit un plafond d'émission inconnu...

La convention cadre sur le changement climatique formule son objectif en termes de plafond maximal de concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. La plupart des modèles montrent que pour le plafond de 550 ppm (parties par million) de CO<sub>2</sub>, mieux vaut ne pas se lancer dans des politiques agressives dès aujourd'hui [Fig. 1]. Trois raisons à cela : ne pas précipiter le déclassement des installations en place, anticiper une baisse du coût des technologies « propres » et faire porter une part plus importante du fardeau aux générations futures supposées plus riches que les générations actuelles.

Mais le plafond est incertain : les dommages climatiques seront peut-être négligeables jusqu'à 650 ppm ; peut-être seront-ils déjà excessifs à 450 ppm. Supposons que l'opinion soit partagée par tiers entre optimistes retenant 650 ppm comme objectif, pessimistes (450 ppm) et modérés (550 ppm). Ce partage transcrit en probabilités subjectives équivaut à l'objectif moyen de 550 ppm évoqué plus haut. Quand la stratégie optimale est calculée en termes de décision séquentielle (pour un plafond ultime fixé en 2020), il est à noter [Fig. 1] que le décrochement à opérer à court terme est plus important que si 550 ppm était pris comme cible certaine dès le départ (cf. modèle DIAM, Ha-Duong *et al.*, 1997). Si en 2020, un plafond de 450 ppm est perçu comme préférable, il faudrait rattraper le temps perdu et assumer les coûts élevés du renouvellement précipité des équipements et des technologies.



► [Fig. 1]

Stratégie optimale de réduction des émissions de dioxyde de carbone, fondée sur une approche coût-efficacité. Source : GIEC, Bilan 2001 des changements climatiques : mesures d'atténuation, p. 69.

# CIRE

## ► Soit un arbitrage entre coûts et bénéfices des politiques climatiques...

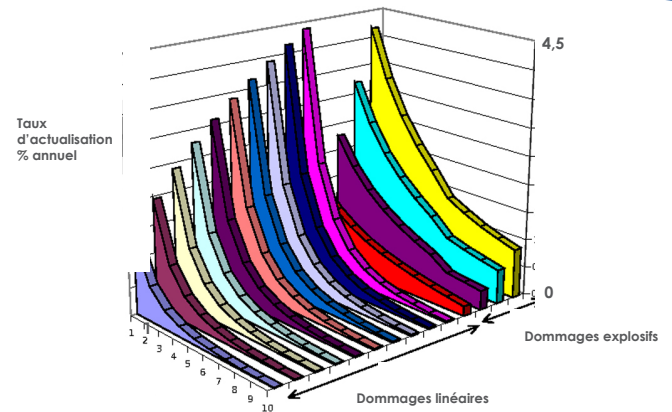
Ces conclusions ne suffisent pas à convaincre ceux qui estiment qu'il faut – malgré la difficulté du chiffrage – mettre en balance les coûts de l'action et une évaluation monétaire des dommages évités (analyse coût-bénéfice), en intégrant le fait que tout euro dépensé au nom du climat ne le sera pas ailleurs.

Quand ce calcul est effectué en intégrant des évaluations des dommages (modèle RESPONSE), le choix du taux d'actualisation devient critique. Ce paramètre est nécessaire pour comparer des dépenses et des dommages correspondant à des périodes différentes. L'actualisation donne un poids plus faible aux dommages du changement climatique à long terme alors que dans le calcul précédent il ne touchait pas les plafonds de concentration. Il suffit alors d'un taux supérieur à 5% pour justifier d'efforts de réduction faibles à court terme [Fig. 2, cas des dommages linéaires]. Un premier élément de réponse réside dans le choix raisonnable du taux d'actualisation. Il devrait refléter la productivité marginale des investissements sur le très long terme (2 à 5%) et non les taux d'intérêt de court terme.

Au-delà de la question du taux, les modèles intégrés utilisés au CIRE montrent que la clé de l'analyse coût-bénéfice réside dans la régularité de la fonction de dommage [Fig. 3]

Supposer que les dommages augmenteront régulièrement avec le réchauffement, c'est affirmer qu'ils seront négligeables pendant les cinquante prochaines années et qu'ils ne seront importants que vers la fin de ce siècle. Cette hypothèse suggère de reporter l'action tant que la croissance annuelle des dommages reste inférieure à celle de la croissance économique. Selon cette hypothèse, mieux vaut investir dans le développement et laisser les générations futures compenser le coût des dommages climatiques.

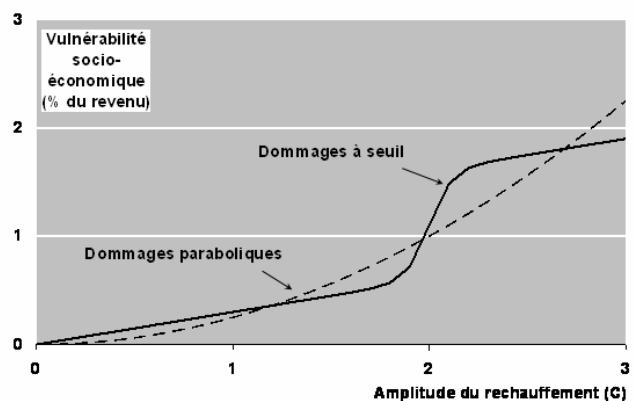
Si, en revanche, il est admis que les dommages risquent de croître de façon abrupte, avec des effets de seuils et de non-linéarités, alors une action plus précoce est rationnelle et ce, d'autant plus, que les climatologues ont révisé très fortement à la hausse leurs évaluations de la sensibilité climatique.



► [Fig. 2]

Réduction des émissions de CO<sub>2</sub> à la première période dans le modèle d'optimisation coût-bénéfice RESPONSE, en fonction du taux d'actualisation annuel et pour diverses hypothèses sur la magnitude et la forme de la fonction de dommage.

La figure 2 contraste ces deux hypothèses. Elle montre les résultats d'un même modèle (RESPONSE) en intégrant ou non le risque d'une série de chocs plus précoces avec une accélération des dommages à partir de 2035-2040. Les scénarii de dommages explosifs sont conformes à la succession des événements extrêmes observée ces dernières années. Il est raisonnable, dans ce cas, d'agir de façon significative dès aujourd'hui, même avec des taux d'actualisation plus élevés.



► [Fig. 3]

Fonction de dommage parabolique ou fonction de dommage à seuil : deux visions des risques liés au changement climatique.

## ► Conclusion : l'incertitude n'est pas un argument pour l'inaction

Il apparaît qu'en raison de l'inertie des systèmes technico-économiques et du système climatique, attendre une preuve définitive du danger ne peut représenter un argument pour retarder l'action à moins qu'aucune crédibilité ne soit accordée aux alertes des climatologues ou si l'on pense que la régulation de l'économie mondiale au XXI<sup>e</sup> siècle se fera dans un contexte d'efficacité et de solidarité qui feront que tout choc environnemental sera aisément absorbé.

## ► Perspectives

Au CIRED, ces travaux sont appelés à se poursuivre afin d'éclairer diverses dimensions des débats sur le rythme des politiques climatiques. La séquestration biologique et géologique du carbone reposent la question du tempo optimal de l'action : ces technologies permettent de gagner du temps en stockant le carbone ailleurs que dans l'atmosphère. En revanche, il existe un risque de relarguage à long terme du carbone séquestré. La recherche s'étend aussi à la comparaison de l'action sur les gaz autres que le CO<sub>2</sub>, comme le méthane ou certains composés halogénés.

Le développement des marchés du CO<sub>2</sub>, notamment en Europe, ainsi que l'accroissement du changement climatique ressenti, amènent à étudier l'évolution dans le temps de la « valeur du carbone » et l'intégration des politiques d'adaptation.

En parallèle, un ensemble de travaux et en cours pour préciser la notion de précaution dans les modèles intégrés. Cela passe d'abord par des recherches visant à comprendre les déterminants de la forme de la fonction dommages : les non linéarités viennent-elles seulement des impacts physiques du changement climatique ? Quel est le rôle de la capacité de réaction donc de la solidité des économies impactées ? Cela passe aussi par des essais visant à dépasser le cadre « Bayésien » standard de révision progressive des croyances en fonction des nouvelles informations, en particulier face à des situations d'incertitude radicale. Ici, l'écart entre les efforts théoriques en matière de probabilités imprécises et les modèles numériques capables d'éclairer les débats publics est à combler.

### Remerciements

Les auteurs remercient Nadia Belalimat pour sa contribution.

École des ponts - CIRED  
Campus du Jardin Tropical  
45 bis av. de la Belle Gabrielle  
94736 Nogent-sur-Marne  
Tél. : 01 43 94 73 73

## Pour en savoir plus

[www.centre-cired.fr](http://www.centre-cired.fr)

Philippe Ambrosi, Jean-Charles Hourcade, Stéphane Hallegatte, Franck Lecocq, Patrice Dumas et Minh Ha-Duong (2003) "Optimal control models and elicitation of attitudes towards climate change". *Environmental Modeling and Assessment*, 8 (3):135-147.

Vincent Gitz, Jean-Charles Hourcade et Philippe Ciais (2006) "The timing of biological carbon sequestration and carbon abatement in the energy sector under optimal strategies against climate risks". *The Energy Journal*, 27(3).

Roger Guesnerie (2003) "Kyoto et l'économie de l'effet de serre", Rapport au Conseil d'Analyse Économique n° 39, La documentation française.

Minh Ha-Duong, Michael J. Grubb et Jean-Charles Hourcade (1997) "Influence of socioeconomic inertia and uncertainty on optimal CO<sub>2</sub>-emission abatement". *Nature*, 390:270-274.

Site web du Groupe de travail III du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat : [www.mnp.nl/ipcc/](http://www.mnp.nl/ipcc/)

## ► Le CIRED

Le CIRED est une Unité Mixte de Recherche fondée en 1971 commune à l'École des Ponts, d'AgroParisTech-ENGREF, de l'EHESS et est associé au CNRS - UMR 8568, ainsi qu'au CIRAD.

Le CIRED traite les thèmes essentiels couvrant la problématique du développement durable :

- Modèles de décision publique en univers controversé
- Décision séquentielle et précaution
- Instruments des politiques d'environnement
- Institutions, systèmes techniques et territoire
- Globalisation économique et biens publics globaux, liens environnement-développement

► Personnel permanent : 47

► Doctorants : 18