

Dérèglement climatique et croissance économique

Frédéric Gonand

Les effets macro-économiques du dérèglement climatique et des politiques de transition bas carbone seraient pour la planète globalement modérés – quelques centièmes de % de PIB mondial en rythme annuel, mais seraient importants pour certaines régions (Asie-Pacifique notamment). La probabilité d'événements climatiques extrêmes justifie la mise en place d'actions à coût non nul dès aujourd'hui pour limiter le dérèglement climatique ou en atténuer les conséquences économiques. Une politique de transition bas carbone peut, à cet égard, être comprise comme une auto-assurance des économies actuelles contre les risques d'une catastrophe climatique aux conséquences économiques massives.

Depuis les années 1990, une littérature empirique analyse les effets sur la croissance économique du dérèglement climatique et des politiques de transition bas carbone. Depuis 20 ans environ, elle a fourni l'occasion aux chercheurs de développer de nouveaux outils sous la forme de modèles reliant climat et macro-économie : les *Integrated Assessment Models* (IAM). De l'avis des chercheurs eux-mêmes, l'état du savoir sur le sujet demeure encore en devenir.

1. Les *Integrated Assessment Models* : caractéristiques et mécanismes étudiés

Les modèles d'évaluation intégrée (IAM donc) associent des modélisations économiques et des modélisations environnementales qui interagissent les unes avec les autres. Les « modèles de modèles » que sont presque toujours les IAM ont une dimension mondiale,

une dimension macroéconomique, une dimension technico-économique et comportent un ou plusieurs sous-modèles climatiques, parfois des modèles de commerce international de matières premières... Le système énergétique et environnemental y est décrit en flux et en stock. L'objectif de ces modèles est d'évaluer les effets économiques du changement climatique

et des politiques environnementales associées. Le principal intérêt des IAM est de permettre une vision globale, au niveau mondial, des interactions entre les nombreux différents aspects, secteurs et questions liés au changement climatique et aux politiques associées. Leur cohérence d'ensemble n'est pas toujours garantie, en lien avec l'interfaçage de différents sous-modèles reposant sur des hypothèses pouvant être hétérogènes, et avec la sensibilité aux nombreuses hypothèses nécessaires pour les paramétrer.

Plusieurs sous-familles d'IAM peuvent être distinguées. Les modèles d'origine universitaire

Les IAM ont une dimension mondiale technico-économique

ont été les pionniers dans les années 1990, à Yale (avec W. Nordhaus et ses modèles DICE puis RICE), à Stanford (*Energy Modeling Forum*) ou au Paul Scherrer Institute. La première étude empirique qui fait le lien entre environnement et croissance économique au niveau mondial, avec évaluation monétaire du changement climatique, semble être Nordhaus [1994] présentant son modèle DICE. Créé en 1994 et mis à jour en 2007, c'est un modèle très simplifié, avec un consommateur-producteur unique au niveau mondial qui définit son choix optimal entre consommer, investir et réduire ses émissions de gaz à effet de serre (GES). Les coûts économiques du changement climatique sont modélisés par une « fonction de dommage » (*damage function*) qui dépend de la hausse attendue de la température ambiante moyenne. Le modèle RICE est la version régionalisée de DICE, développée en 1996 et 2000 [Nordhaus & Yang, 1996 ; Nordhaus & Boyer, 2000]. Chaque zone géographique produit en fonction de ses ressources en travail, en capital et en énergie. RICE est cohérent avec la théorie de la croissance selon Solow qu'il élargit en introduisant l'investissement dans un « capital environnemental ». Les réductions d'émissions sont considérées comme des investissements en capital environnemental.

La concentration en GES est assimilée à un capital environnemental négatif et des réductions d'émissions permettent de réduire la valeur de ce capital. Les efforts de baisses d'émissions réduisent la consommation présente, mais, en limitant le coût futur économique du dérèglement climatique, permettent d'améliorer les perspectives futures de consommation et de bien-être. Selon ce type de modèle, l'optimum se traduirait par une baisse de 50 % des émissions de GES dans les prochaines décennies et, dans certains scénarios, une quasi-disparition de ces émissions d'ici 2075. DICE/RICE permettent aussi de mesurer le coût marginal de réduction des émissions, qui est de plusieurs dizaines de dollars par tonne d'émission selon les scénarios, ce qui fournit un ordre de grandeur possible pour le taux d'une éventuelle taxe carbone.

Plusieurs modèles ont amélioré les travaux initiaux de Nordhaus qui reposaient sur une

modélisation de la croissance en équilibre général assez rustique. Le premier IAM avec un mécanisme d'équilibre général développé semble être le modèle DART de Deke *et al.* [2001]. Il modélise notamment l'effet sur la croissance des variations de productivité agricole et du niveau des mers liées au dérèglement climatique.

D'autres travaux développent la structure de DICE-RICE en y introduisant des éléments variés. C'est par exemple le cas du modèle WITCH [Bosetti *et al.*, 2006 ; 2007 ; 2009] qui modélise les éventuels comportements non coopératifs entre différentes zones géographiques. Ce type de démarche ne manque pas d'intérêt pour étudier les négociations environnementales internationales contemporaines.

DICE a donné lieu à une littérature avec différents modèles plus sophistiqués tels que MERGE [Manne *et al.*, 1995], FUND [Tol, 2005], FAIR, PAGE ou WITCH.

Habituellement, les IAM prennent en compte d'assez nombreux mécanismes environnementaux dans leurs calculs économiques – notamment les conséquences du changement climatique sur le secteur agricole et forestier, sur les ressources en eau, sur les zones côtières submersibles, sur le tourisme, sur la consommation d'énergie ou sur la santé humaine.

La structure mondiale des IAM leur permet d'étudier la variété géographique des effets du dérèglement climatique. De fait, la fonction de production des pays d'Asie-Pacifique est souvent davantage impactée par le dérèglement climatique, en lien avec l'augmentation du niveau général des océans qui détruit leur stock de capital foncier [Yohe & Schlesinger, 1998].

Certains éléments des IAM s'intéressent moins à l'effet du dérèglement climatique sur le PIB que sur l'utilité. Ils utilisent alors une approche de type *willingness to pay* (WTP) ou approche en bien-être pour des agents averses au risque [Fankhauser *et al.*, 1997]. Cette méthode est notamment utilisée pour quantifier la perte de bien-être liée à une dégradation de la biodiversité ou à une accentuation de la pollution de l'air. Si elles sont bien fondées en théorie, les évaluations empiriques associées à cette démarche sont relativement peu

précises. Elles varient du simple au triple dans la littérature relative aux effets en bien-être de la pollution de l'air. Les ordres de grandeur obtenus empiriquement sont donc assez fragiles. La valorisation monétaire de la perte de biodiversité en fournit une autre illustration. Le modèle MERGE [Manne *et al.*, 1995] estime qu'une hausse moyenne de 2,5°C au-dessus des niveaux pré-industriels pèse à hauteur de 2 % du PIB dans les pays où le revenu par habitant est supérieur à 40 000 \$. Cet ordre de grandeur de 2 % est tiré du montant des dépenses de l'Agence américaine de protection de l'environnement en 1995, l'idée étant que ce montant est une bonne approximation de la WTP et qu'il est suffisant pour préserver la biodiversité en cas de hausse modérée des températures.

Certains aspects du dérèglement climatique oubliés dans les modèles IAM

Certains aspects du dérèglement climatique et des politiques associées sont encore peu ou pas pris en compte dans les modèles IAM. C'est le cas de la pollution de l'air, comme il vient d'être indiqué. C'est aussi le cas des thématiques liées à la sécurité énergétique et à sa valeur économique. C'est encore le cas du coût économique d'événements climatiques extrêmes en cas de hausses sensibles des températures, avec un possible arrêt de la circulation thermohaline¹ [Marotzke, 2000], une éventuelle fonte de la couverture glaciaire dans l'Antarctique occidental [Vaughan & Spouge, 2002] ou des émissions massives de méthane en cas de dégel à grande échelle du permafrost [Harvey & Zhen, 1995].

Depuis quelques années, certaines organisations internationales ont aussi développé des modèles IAM d'assez grandes dimensions : l'OCDE (avec les modèles AD-RICE ou ENV-linkages), la Commission européenne (avec le projet Peseta II de l'équipe de Juan-Carlos Ciscar) et l'IPCC (avec Otmar Edenhofer). À titre illustratif, le modèle ENV-Linkages de l'OCDE modélise les effets d'une hausse mondiale des températures sur le niveau des mers, la santé humaine, les écosystèmes, l'agriculture, le

tourisme, les pêcheries et le secteur de l'énergie. L'élévation du niveau des océans détruit du capital foncier dans les zones côtières. Les effets sur la santé humaine sont matérialisés sous forme de pertes de productivité du travail. Les effets sur l'agriculture concernent surtout la productivité du secteur. Les politiques dans le secteur de l'énergie sont prises en compte (efficacité énergétique, sobriété énergétique, énergies renouvelables) ainsi que leurs effets sur les volumes et les prix du secteur.

La littérature récente en matière d'IAM s'est intéressée plus particulièrement à l'analyse comparée des comportements économiques d'adaptation au dérèglement climatique (*i.e.* visant à réduire les conséquences du changement climatique) et des politiques de lutte contre le réchauffement global lui-même (avec notamment la limitation des émissions de GES). Les actions d'adaptation peuvent concerner des modifications de pratiques dans les secteurs de l'agriculture, de l'énergie, mais aussi dans des investissements lourds comme la construction de digues marines protégeant de la montée du niveau des océans. Cette littérature s'inspire d'intuitions formulées par Mendelsohn *et al.* en 1994 et Hope *et al.* [1993], mais l'étude empirique coûts-bénéfices des actions d'adaptation est plus récente [Agrawala & Fankhauser, 2008]. Le modèle FUND [Tol, 2008] intègre ainsi comme variable les actions de protection des zones côtières contre la montée des eaux.

De façon générale, cette littérature suggère que les bénéfices économiques des actions d'adaptation se matérialisent plus tôt que ceux des actions de lutte contre le réchauffement climatique (*adaptation vs. mitigation*). Si les décideurs publics sont sujets à myopie temporelle, ceci peut conduire à un relatif surinvestissement dans les dépenses d'adaptation et un relatif sous-investissement dans les projets de lutte contre la hausse des températures [de Bruin *et al.*, 2009]².

1. Circulation permanente de l'eau des océans.

2. Un tableau récapitulatif et détaillé des travaux IAM récents relatifs aux conséquences économiques du dérèglement climatique est utilement réalisé par Sue Wing et Lanzi [2014].

2. Le dérèglement climatique aurait des effets économiques limités, mais variables

De façon globale et récurrente, les IAM ne suggèrent pas que les effets économiques *moyens* du dérèglement climatique seraient massifs.

La littérature IAM s'est en premier lieu intéressée à la mesure des impacts économiques du changement climatique dans un scénario *business-as-usual*, c'est-à-dire sans politique environnementale nouvelle [Fankhauser, 1994 ; 1995]. Dans ces recherches, les travaux ne manquent pas qui suggèrent qu'un réchauffement climatique *contenu* pourrait avoir un effet *positif* sur la croissance économique. Ces études [Hope, 2006 ; Mendelsohn *et al.*, 2000a, b ; Tol, 2002] suggèrent que, jusqu'à 1,1°C en moyenne, les effets globaux du réchauffement climatique pourraient être favorables sur le PIB, notamment pour les rendements agricoles.

Rappelons toutefois que les anticipations actuelles de réchauffement climatique à l'échelle de ce siècle sont nettement supérieures à cette valeur de +1,1°C.

En utilisant des hypothèses de réchauffement climatique plus élevées, l'ensemble de la littérature conclue à des pertes économiques globales. L'OCDE [Dellink *et al.*, 2014] estime l'effet à -1,5 % de PIB en niveau d'ici 2060, soit une perte de croissance annuelle du PIB de -0,03 % en moyenne. Le rapport du groupe de travail II de l'IPCC passe en revue la littérature et confirme ces ordres de grandeur, en retenant des pertes économiques comprises entre -0,2 et 2,0% de revenu mondial pour une hausse des températures de 2,5°C à long terme.

Un impact concentré sur l'Asie-Pacifique

Les travaux de la Commission européenne (e.g. le projet Peseta II présenté en 2014 par Ciscar *et al.*)³ utilisent une hypothèse de réchauffement de +3,5°C et suggèrent une perte associée de PIB de 2 % de PIB d'ici 2080. Selon

3. Disponible à cette adresse : https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/reqno_jrc87011_final_report_ready_final3.pdf

ces projections, le réchauffement affecterait assez peu les rendements agricoles, pèserait sur la consommation d'énergie en limitant les besoins de chauffage, doubleraient les coûts économiques liés aux inondations (à 11 Md€ de dégâts par an), attiseraient les feux de forêts et les vagues de sécheresse... Les 2/3 de la perte de bien-être à long terme seraient imputables en Europe aux effets sur la santé humaine du réchauffement (*i.e.* aux canicules). Le sud de l'Europe et le sud de l'Europe centrale concentreraient l'essentiel des coûts associés.

Au niveau mondial, la répartition géographique des pertes économiques serait très hétérogène et concentrée sur l'Asie du sud et du sud-est (Inde, Indonésie), soit des zones densément peuplées et pauvres en moyenne.

Une autre présentation d'ensemble des effets du dérèglement climatique sur la croissance est fournie par R. Tol, l'un des meilleurs spécialistes de la question [Tol, 2008]. Il passe en revue la littérature académique concernée, dont Fankhauser [1994, 1995] à la fin des années 2000. Ces études suggèrent aussi que l'effet global sur le bien-être d'un doublement de la concentration de GES serait relativement contenu – à hauteur d'un faible nombre de points de PIB sur plusieurs décennies, soit une perte de croissance annuelle inférieure à 0,1 % de PIB. Au bout de plusieurs décennies, un réchauffement global de l'ordre de +2,5°C ne pèserait sur le niveau du PIB mondial qu'à hauteur de -0,7% de PIB (avec un écart-type de 1,2 % de PIB).

Les modèles intégrant les actions d'adaptation développés par l'OCDE (AD-DICE et AD-WITCH) suggèrent que ces dernières sont de nature à limiter quelque peu les ordres de grandeur qui viennent d'être évoqués, environ de 0,4 à 0,5 % de PIB en niveau à long terme.

3. Des difficultés de paramétrisation significatives

Les effets économiques du dérèglement climatique sont progressifs et portent sur plusieurs décennies. La dynamique de ces effets peut évoluer et être plus ou moins concentrée à court, moyen ou long terme. Dans ce

contexte, évaluer le coût de l'absence de politique environnementale et les bénéfices d'une action des pouvoirs publics amène souvent à faire une hypothèse sur le taux d'actualisation des coûts et bénéfices économiques futurs des changements climatiques et des décisions politiques. Il se trouve que les résultats quantitatifs obtenus par les IAM en la matière et leurs implications de politique économique sont très dépendants de la valeur de ce taux d'actualisation. Or les économistes sont loin d'être parvenus à un consensus pour déterminer une valeur acceptable pour ce paramètre.

Les travaux de finance comportementale suggèrent généralement un taux de préférence pour le présent de 2 %, voire davantage. Appliqué sur plusieurs décennies, ce type d'ordre de grandeur conduit à diminuer sensiblement les coûts économiques futurs du dérèglement climatique. Il inciterait donc à limiter l'ampleur des politiques environnementales à mettre en œuvre dès aujourd'hui. Dans son modèle, Nordhaus [2008] obtient ainsi un coût social du carbone assez faible, de l'ordre de 20 \$/tonne.

En invoquant des considérations éthiques elles-mêmes rationnellement discutables, certains auteurs considèrent néanmoins que la solidarité avec les générations futures imposerait de retenir, en matière environnementale, un taux d'actualisation presque nul (*e.g.* Stern [2008], Heal [2009]). Avec cette hypothèse, les coûts économiques du dérèglement climatique sont considérablement rehaussés et les politiques de lutte contre ce dérèglement deviennent très nécessaires avec un coût social du carbone qui dépasse les 200 \$ par tonne.

Les échanges académiques sur la valeur du taux d'actualisation du bien-être futur sont rarement conclusifs. Il peut donc paraître malaisé de fonder des politiques environnementales coûteuses à court terme sur ce type d'argumentaire. En attendant un éventuel consensus et dans un souci de neutralité, considérons le taux d'actualisation du bien-être des générations futures comme un paramètre de choix politique à la discrétion du décideur [Pindyck, 2013].

D'autres paramètres utilisés par les IAM soulèvent des problèmes empiriques difficiles. La valeur de l'élasticité de la température

moyenne mondiale à la concentration en CO₂ est difficile à estimer précisément. Or, il s'agit d'un élément essentiel des IAM et de leurs simulations [Allen & Frame, 2007].

De même, la « fonction de dommage » qui lie la hausse de température au PIB dans les IAM n'est pas précisément estimée aujourd'hui, par exemple à partir de données empiriques fiables. Le modèle DICE dans la version 2008 de Nordhaus retient une forme quadratique inverse en la matière. Weitzman [2009] propose une forme exponentielle et quadratique. Les résultats des IAM sont étroitement liés à ces hypothèses pour lesquelles n'existe aujourd'hui pas de résultat théorique ou économétrique stabilisé.

4. Conclusion

Au total, les résultats quantitatifs obtenus aujourd'hui par les IAM en matière d'effets économiques du dérèglement climatique sont faibles et surtout incertains. La conséquence en termes de politique économique de ce résultat ne consiste pas à ne prendre aucune décision. Une catastrophe climatique dans le courant du siècle est désormais possible, avec des hausses de températures supérieures à 6°C par exemple qui déclencheraient les événements climatiques extrêmes évoqués *supra* (arrêt de la circulation thermohaline, fonte de la couverture glaciaire dans l'Antarctique, émissions massives de méthane en cas de dégel du *permafrost*).

Le coût économique de ce risque de pointe est encore mal évalué aujourd'hui, mais il est sans aucun doute massif et non linéaire par rapport aux estimations actuelles des IAM. Dans ce contexte, la probabilité d'événements climatiques extrêmes justifie la mise en place d'actions à coût non nul dès aujourd'hui pour limiter le dérèglement climatique ou en atténuer les conséquences économiques. Ce résultat est valable que l'agent décideur soit averse au risque ou non. En ce sens, les politiques environnementales pourraient utilement être analysées comme des actions d'auto-assurance des économies contemporaines contre un risque environnemental de pointe. Cette démarche

permettrait de mobiliser l'appareil conceptuel de la théorie du risque et de l'assurance. Elle ne manquerait pas d'implications concrètes pour le contenu lui-même des politiques environnementales. ■

Bibliographie

- Agrawala S & Fankhauser S (2008) *Economics aspects of adaptation to climate change. Costs, benefits and policy instrument*. OECD, Paris.
- Agrawala S *et al.* (2010) "Plan or React? Analysis of Adaptation Costs and Benefits Using Integrated Assessment Models", *OECD Environment Working Papers* No. 23, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/5km975m3d5hb-en>
- Allen M & Frame D (2007) "Call Off the Quest", *Science* 318 (5850), pp. 582-83.
- Bosetti V, Carraro C, Galeotti M, Massetti E & Tavoni M (2006) "WITCH: A World Induced Technical Change Hybrid Model", *The Energy Journal*. Special Issue on Hybrid Modeling of Energy-Environment Policies: Reconciling Bottom-up and Top-down, pp. 13-38.
- Bosetti V, Massetti E & Tavoni M (2007) "The WITCH Model. Structure, Baseline, Solutions", *FEEM Working Paper* 10-2007, Milan.
- Bosetti V, De Cian E, Sgobbi A & Tavoni M (2009) "The 2008 WITCH Model: New Model Features and Baseline", *FEEM Working Paper* No. 085.2009.
- (de) Bruin K, Dellink R & Agrawala S (2009) "Economic Aspects of Adaptation to Climate Change: Integrated Assessment Modelling of Adaptation Costs and Benefits", *OECD Environment Working Papers* No. 6, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/225282538105>
- Chateau J, Dellink R & Lanzi E (2014) "An Overview of the OECD ENV-Linkages Model: Version 3", *OECD Environment Working Papers* No. 65, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/5jz2qck2b2vd-en>
- Deke O, Hooss KG, Kasten C, Klepper G & Springer K (2001) "Economic Impact of Climate Change: Simulations with a Regionalized Climate-Economy Model", *Kiel Institute of World Economics*, Working Paper No. 1065.
- Dellink R, Lanzi E, Chateau J, Bosello F, Parrado R & de Bruin K (2014) *Consequences of climate change damages for economic growth – a dynamic quantitative assessment*, OECD Economics Department WP 1135.
- Fankhauser S (1994) "The Economic Costs of Global Warming Damage: A Survey", *Global Environmental Change* 4 (4), pp. 301-309.
- Fankhauser S (1995) *Valuing Climate Change - The Economics of the Greenhouse*, 1st Ed., EarthScan, London.
- Fankhauser S, Tol RSJ & Pearce DW (1997) "The Aggregation of Climate Change Damages: a welfare theoretic approach", *Environmental and Resource Economics* 10, pp. 249-266. Papier disponible sur <http://www.mi.uni-hamburg.de/fileadmin/fnu-files/publication/tol/ereaggregation.pdf>
- Harvey LDD & Zhen H (1995) "Evaluation of the potential impact of methane clathrate destabilization on future global warming", *Journal of Geophysical Research* 100 (D2), pp. 2905-2926.
- Heal G (2009) "Climate Economics: A Metareview and Some Suggestions for Future Research", *Review of Environmental Economics and Policy* 3 (1), pp. 4-21.
- Hope C, Anderson J & Wenman P (1993) "Policy analysis of the greenhouse effect-an application of the PAGE model", *Energy Policy* 15, pp. 328-338.
- Hope CW (2006) "The Marginal Impacts of CO₂, CH₄ and SF₆ Emissions", *Climate Policy* 6 (5), pp. 537-544.
- Manne A, Mendelsohn R & Richels R (1995) "MERGE: A model for evaluating regional and global effects of GHG reduction policies", *Energy Policy* 23, pp. 17-34.
- Marotzke J (2000) "Abrupt climate change and thermohaline circulation: Mechanisms and predictability", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 97 (4), pp. 1347-1350.
- Mendelsohn RO, Morrison WN, Schlesinger ME & Andronova NG (2000a) "Country-specific market impacts of climate change", *Climatic Change* 45 (3-4), pp. 553-569.
- Mendelsohn RO, Schlesinger ME & Williams LJ (2000b) "Comparing Impacts across Climate Models", *Integrated Assessment* 1, pp. 37-48.
- Nordhaus WD (1994) *Managing the Global Commons: The Economics of the Greenhouse Effect*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Nordhaus WD & Yang Z (1996) "A Regional Dynamic General-Equilibrium Model of Alternative Climate-Change Strategies", *American Economic Review* 86 (4), pp. 741-765.
- Nordhaus WD & Boyer J (2000) *Warming the World: Economic Models of Global Warming*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Nordhaus WD (2007) *A question of balance*, Yale University Press, New Haven, CT.
- Nordhaus WD (2008) *A Question of Balance: Weighing the Options on Global Warming Policies*. New Haven and London: Yale University Press.
- Pindyck R (2013) "Climate change policy: what do the models tell us?", *Journal of Economic Literature* 51 (3), pp. 860-872.
- Stern N (2008) "The Economics of Climate Change", *American Economic Review* 98 (2), pp. 1-37.
- Sue Wing I. & Lanzi E (2014) "Integrated Assessment of Climate Change Impacts: Conceptual Frameworks, Modelling Approaches and Research Needs", *OECD Environment Working Papers* No. 66, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/5jz2qcsrvzx-en>
- Tol RSJ (2002) "Estimates of the Damage Costs of Climate Change - Part II: Dynamic Estimates", *Environmental and Resource Economics* 21, pp. 135-160.
- Tol RSJ (2005) "Emission Abatement versus Development as Strategies to Reduce Vulnerability to Climate Change: An Application of FUND", *Environment and Development Economics* 10, pp. 615-629.
- Tol RSJ (2008) "The economic impact of climate change", *ESRI Working Paper* No. 255.
- Vaughan DG & Spouge JR (2002) "Risk estimation of collapse of the West Antarctic Sheet", *Climatic Change* (52), pp. 65-91.
- Weitzman ML (2009) "On Modeling and Interpreting the Economics of Catastrophic Climate Change", *Review of Economics and Statistics* 91 (1), pp. 1-19.
- Yohe G & Schlesinger M (1998) "Sea-level change: the expected economic cost of protection or abandonment in the United States", *Climatic Change* 38, pp. 437-472.