

Réchauffement climatique et agriculture

Les effets de la sécheresse dans le sud-ouest du Zimbabwe.

William R. Cline

DANS *Les Raisins de la colère*, John Steinbeck peignait une fresque de l'Amérique des années 30 et plus particulièrement des «Okies», ces ouvriers migrants partis des fermes ruinées du *Dust Bowl* (zone agricole devenue aride) de l'Oklahoma et du Texas pour s'installer en Californie, une terre promise qui n'avait rien d'idyllique. Ce précédent historique, et peut-être aussi la sécheresse actuelle qui prend les proportions d'un fléau biblique en Australie, devrait alerter les décideurs de la planète sur la menace que constitue pour l'agriculture mondiale le climat de plus en plus aride qui sévira d'ici la fin du siècle si le réchauffement se poursuit.

Dans la longue liste des risques liés à cette évolution climatique, ceux concernant l'agriculture sont parmi les plus importants. Depuis quelques années, toutefois, certains économistes du climat tendent à les minimiser, voire à penser

que quelques degrés Celsius supplémentaires pourraient être bénéfiques à l'agriculture. Mais leurs études tablent souvent sur des échéances trop courtes (l'horizon 2050 en général). En outre, ils se concentrent plus sur la variation des températures à l'échelle globale (océans compris) que sur les continents (qui se réchauffent plus vite et plus facilement que l'eau) et en particulier les terres agricoles.

Il est largement admis que les effets du réchauffement planétaire sur l'agriculture coûteront davantage aux pays en développement qu'aux pays industrialisés. La majorité des pays en développement sont moins en mesure de s'adapter que leurs riches voisins. La plupart se trouvent dans les régions les plus chaudes du globe, où la température avoisine, voire dépasse déjà, les seuils au-delà desquels la production agricole tend à décliner plutôt qu'à augmenter. Qui plus est, l'agriculture pèse comparativement

Si rien n'est fait pour diminuer les émissions de carbone, la productivité agricole va fortement chuter, surtout dans les pays en développement

plus lourd dans les économies en développement. Néanmoins, il est difficile de mesurer l'impact du changement climatique sur l'agriculture des différents pays.

Ainsi, cette étude (Cline, 2007) a été réalisée pour mieux cerner les effets à long terme du réchauffement mondial en l'absence de changements (scénario de référence ou de *statu quo*) et pour en mesurer l'impact probable par pays et par région. L'horizon temporel choisi est la période 2070–99, appelée «les années 2080». Les projections fondées sur des modèles climatiques sont disponibles pour cette période, qui est suffisamment éloignée pour qu'un réchauffement substantiel du climat ait eu le temps de se produire, avec les dommages que cela pourrait entraîner, mais suffisamment proche pour que l'opinion publique se sente concernée. L'étude, qui est examinée dans cet article, suggère qu'il y a de bonnes raisons de minimiser les risques encourus par l'agriculture en raison du réchauffement planétaire.

Incidence du climat sur l'agriculture

Les changements climatiques peuvent influencer de diverses manières sur l'agriculture. Au-delà de certains seuils de température, les rendements agricoles peuvent diminuer, car l'accélération du processus de croissance s'accompagne d'une moindre production de grains. De plus, l'augmentation de la température modifie la capacité des plantes à retenir et utiliser l'humidité. L'évaporation du sol s'accélère et les feuilles des plantes perdent plus d'humidité, un double effet appelé «évapotranspiration». Comme le réchauffement planétaire peut provoquer des précipitations plus importantes, l'impact net de la hausse des températures sur la disponibilité d'eau dépend du rythme d'augmentation de l'évapotranspiration et des précipitations. En général, c'est l'évapotranspiration qui augmente le plus vite.

Cependant, les émissions de carbone, cause principale du changement climatique, peuvent favoriser l'agriculture en améliorant la photosynthèse nette de nombreuses cultures importantes, les «plantes en C3» (blé, riz, soja, etc.). Toutefois, les scientifiques sont loin d'être certains des bienfaits de la fertilisation due au gaz carbonique de l'air (fertilisation carbonée). En revanche, il est établi qu'elle n'est guère utile aux cultures en C4 (canne à sucre, maïs, etc.) qui, en valeur, représentent environ un quart de toutes les cultures.

La preuve par les chiffres

Pour estimer l'impact national du réchauffement climatique sur l'agriculture au cas où les émissions carbonées ne cessent d'augmenter, notre étude a combiné deux séries de modèles (climatologiques et agro-économiques). Six grands modèles climatologiques ont produit des projections de températures et de précipitations avec une précision d'environ 2.000 zones géographiques ou mailles. Ces variations ont été incorporées aux informations sur le climat actuel (près de 22.000 mailles), puis leur moyenne a été calculée pour obtenir des projections climatiques consensuelles avec une précision d'environ 4.000 mailles. Ces projections ont été intégrées aux modèles agro-économiques pour obtenir des estimations de rendement, dont la moyenne a été ensuite calculée par pays et par région.

Globalement, les six modèles montrent qu'un doublement de la concentration de CO₂ atmosphérique se traduira au final par un réchauffement planétaire de 3,3° C. Le chiffre est proche

de l'estimation de la «sensibilité climatique» faite par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), c'est-à-dire du réchauffement mondial à long terme qui devrait résulter d'un doublement du CO₂ atmosphérique par rapport aux niveaux préindustriels. Nos modèles produisent donc des prévisions conformes au courant dominant.

Pour produire ces estimations, le scénario de référence le plus utilisé en matière d'émissions dans le Troisième rapport d'évaluation du GIEC (2001) a été intégré aux modèles climatiques. Aujourd'hui, les émissions annuelles dues aux combustibles fossiles s'élèvent à environ 7 milliards de tonnes de carbone. D'après le scénario de *statu quo* du GIEC, elles atteindront 16 milliards de tonnes en 2050 et 29 milliards en 2100, notamment en raison de l'exploitation accrue du charbon. Les concentrations atmosphériques de CO₂ seraient alors de 735 parties par million (ppm) en 2085, contre 280 ppm à l'ère préindustrielle et 380 ppm à l'heure actuelle.

L'étude divise le monde en 116 pays et régions. Pour les années 2080, les six modèles climatiques prédisent une hausse de la température moyenne d'environ 5° C sur les continents et d'environ 4,4° C sur les terres agricoles (chiffres pondérés; voir tableau 1, partie supérieure). Ceci est plus important qu'un réchauffement moyen de 3° C, car les continents se réchauffent plus que les océans. Les précipitations augmentent aussi, mais seulement d'environ 3 %.

Les projections d'évolution du climat sont ensuite appliquées aux modèles d'impact sur l'agriculture pour obtenir deux séries

Tableau 1

La fièvre monte

Si les émissions de carbone se poursuivent au même rythme, les températures mesurées dans les années 2080 sur les continents et les terres agricoles seront nettement plus élevées qu'actuellement ...

	Continents	Terres agricoles
Niveaux de référence :		
Températures ¹	13,15	16,20
Précipitations ²	2,20	2,44
Années 2080		
Températures	18,10	20,63
Précipitations	2,33	2,51

... et la productivité agricole va globalement diminuer, en particulier dans les pays en développement.

(variation en pourcentage de la productivité agricole)

	Sans FC ³	Avec FC ⁴
Monde		
Pondéré par la production	-16	-3
Pondéré par la population	-18	-6
Médiane par pays	-24	-12
Pays industrialisés		
	-6	8
Pays en développement ⁵		
Médiane	-26	-15
Afrique	-28	-17
Asie	-19	-7
Moyen-Orient et Afrique du Nord	-21	-9
Amérique latine	-24	-13

Source : Cline (2007).

¹Les températures sont des moyennes journalières indiquées en degrés Celsius.

²Les précipitations sont indiquées en millimètres par jour.

³Suppose que l'augmentation de carbone atmosphérique (fertilisation carbonée) n'améliorera pas les rendements.

⁴Suppose que la fertilisation carbonée aura un effet positif.

⁵Hors Europe.

d'évaluations de l'effet du changement sur la productivité agricole. La première série, celle des «modèles cultureaux», met en relation la production agricole et la qualité des terres, le climat, les apports d'engrais, etc. (Rosenzweig and Iglesias, 2006). La deuxième série — «modèles ricardiens» — induit la contribution de la température et de la pluviométrie à la productivité agricole en examinant le lien entre le prix des terres agricoles et le climat, car, jusqu'à un certain seuil, la productivité s'améliore quand la température passe de froide à tiède, puis se détériore quand elle passe de tiède à chaude (Mendelsohn and Schlesinger, 1999). Des modèles établissant un lien entre, d'une part, la valeur des terres ou les revenus nets constatés par région ou par exploitation et, d'autre part, des facteurs comme la qualité des sols ou la température et les précipitations, existent désormais pour le Canada, les États-Unis, l'Inde et de nombreux pays africains et latino-américains. Les deux séries de modèles tendent à donner des résultats similaires. L'étude les a combinées pour obtenir une estimation consensuelle des rendements des cultures, dans l'hypothèse où la concentration accrue en CO₂ n'améliore pas les rendements et dans l'hypothèse où cette fertilisation carbonée a des effets bénéfiques.

Incidence sur les rendements des cultures

Les résultats laissent peu de place à l'optimisme. À l'échelle de la planète, l'impact d'un réchauffement conforme au scénario de référence jusque dans les années 2080 est une réduction de la productivité agricole (production à l'hectare) de 16 % sans fertilisation carbonée et de 3 % si les bienfaits d'une telle fertilisation devaient se matérialiser — résultats pondérés par la production (tableau 1, partie inférieure). Les pertes sont plus élevées en cas de pondération par la population ou le pays.

Tableau 2

Effets contrastés selon les pays

Que les modèles de projection utilisés soient agronomiques ou économiques, il ressort que tous les pays ou presque pâtiront du changement climatique.

(variation en pourcentage de la productivité agricole)

	Modèle ricardien ¹	Modèle cultural ¹	Moyenne pondérée	
			Sans FC	Avec FC
Argentine	-4	-18	-11	2
Brésil	-5	-29	-17	-4
États-Unis	5	-16	-6	8
Plaines du sud-ouest	-11	-59	-35	-25
Inde	-49	-27	-38	-29
Chine	4	-13	-7	7
Centre-sud	-19	-13	-15	-2
Mexique	-36	-35	-35	-26
Nigéria	-12	-25	-19	-6
Afrique du Sud	-47	-20	-33	-23
Éthiopie	-31	-31	-31	-21
Canada	0	-4	-2	12
Espagne	-4	-11	-9	5
Allemagne	14	-11	-3	12
Russie	0	-15	-8	6

Source : Cline (2007).

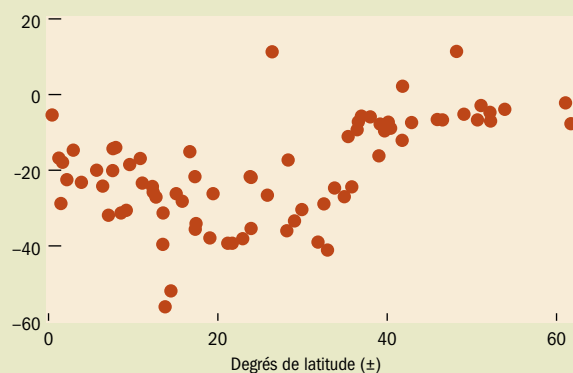
Note : Les modèles ricardiens déduisent de manière statistique la contribution de la température et des précipitations à la productivité agricole en examinant les liens entre le prix des terres et le climat, tandis que les modèles cultureaux relient la production agricole à la qualité des terres, au climat, aux apports d'engrais, etc.

¹Hypothèse d'un effet nul de la fertilisation carbonée.

La rançon du soleil

Plus un pays est proche de l'équateur, plus son agriculture risque de souffrir du réchauffement climatique.

(variation en pourcentage de la productivité agricole)



Source : Cline (2007).

Note : Chaque point représente un pays.

Les pertes se concentrent surtout dans les pays en développement. Alors que les pays développés enregistreraient des pertes de 6 % sans fertilisation carbonée et un gain de productivité de 8 % grâce à cette fertilisation, les pays en développement subiraient des pertes d'environ 25 % sans fertilisation et de 10 à 15 % avec. Pour le pays, la perte médiane serait de 15 à 26 % et la perte moyenne pondérée par la production, de 9 à 21 %. Les pertes pourraient être dramatiques dans certains des pays les plus pauvres (plus de 50 % au Sénégal et au Soudan).

Le préjudice sera généralement accru près de l'équateur (graphique), où les températures avoisinent déjà le seuil de tolérance des cultures. L'altitude joue aussi. Grâce à une altitude plus élevée et à des températures moyennes plus basses, l'Ouganda risque des pertes moins significatives (17 % sans la fertilisation carbonée) que le Burkina Faso (24 %), même si ce dernier se situe à environ 10° plus au nord. Alors que les principales pertes vont se concentrer aux latitudes les plus basses, les gains éventuels seront observés aux latitudes les plus élevées. Si la fertilisation carbonée est nulle, les pays africains, latino-américains et sud-asiatiques seront les plus affectés, mais la quasi-totalité de la planète sera concernée par la baisse de la productivité agricole (carte 1). Les effets positifs de la fertilisation carbonée seront-ils appréciables? Oui et non. L'évolution du climat sera malgré tout très défavorable à divers pays d'Afrique, d'Amérique latine et d'Asie du Sud, mais certains pays et sous-régions s'en sortiront nettement mieux que les autres (carte 2).

Une désagrégation plus détaillée, par pays et par région, fait ressortir les points suivants (tableau 2) :

En *Amérique du Sud*, les pertes risquent d'être considérables en *Argentine* et au *Brésil* si l'effet «fertilisation carbonée» ne se matérialise pas et, dans le cas contraire, le Brésil verra sa productivité agricole décliner, mais plus modérément; l'Argentine sera mieux lotie.

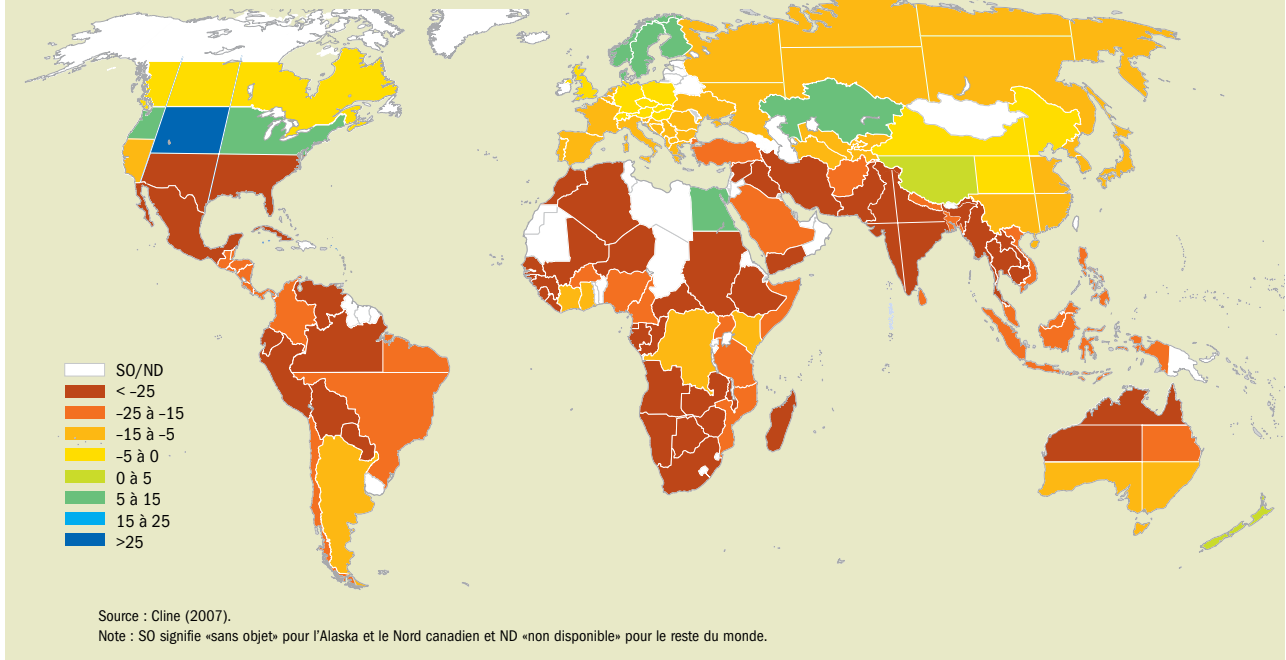
En *Amérique du Nord*, l'écart entre nord et sud est saisissant. En moyenne, la productivité agricole aux *États-Unis* devrait baisser de 6 % sans fertilisation carbonée et augmenter d'au

Carte 1

Sans fertilisation au carbone

Si l'augmentation du dioxyde de carbone n'a pas d'effet bénéfique, la production agricole diminue presque partout et de façon catastrophique dans les régions plus proches de l'équateur.

(variation en pourcentage de la productivité agricole induite par le climat entre 2003 et les années 2080)



maximum 8 % avec. Cette moyenne masque toutefois d'importantes pertes potentielles dans le sud-est et dans les plaines du sud-ouest, où la moyenne pondérée des modèles ricardiens et des modèles cultureux montre des pertes allant de 25 % (cas d'une fertilisation carbonée bénéfique) à 35 % (absence d'effets bénéfiques). Au *Canada*, comme aux États-Unis, les pertes sont minimales sans fertilisation carbonée et les gains sont modérés avec. Au *Mexique*, la baisse de la productivité agricole est comprise entre 25 et 35 %.

En *Afrique*, les pertes sont substantielles. Celles du *Nigéria* varient de 6 à 19 % et celles de l'*Afrique du Sud* et de l'*Éthiopie* sont encore bien supérieures.

En *Europe*, l'*Allemagne* constatera des pertes minimales sans fertilisation carbonée et des gains modérés avec. Pour l'*Espagne*, les résultats sont plus défavorables, là encore en raison de la latitude. Dans le cas de la *Russie*, la productivité diminue de 8 % sans fertilisation carbonée et progresse de 6 % sinon.

En *Asie*, le contraste entre les deux économies en développement les plus dynamiques est très marqué. Le cas de l'*Inde* est sans doute le plus préoccupant, avec des pertes de 30 à 40 %. Le tableau est moins alarmant en *Chine*, avec une perte de 7 % et un gain de 7 %. La comparaison avec les États-Unis est pertinente : en Chine, les effets moyens sont assez neutres, mais les régions méridionales subissent des pertes non négligeables. Le contraste avec l'Inde est tout à fait logique compte tenu de sa plus grande proximité avec l'équateur. La Chine et les États-Unis ont une latitude centrale d'environ 38° nord, contre 22° nord pour l'Inde.

Un sauvetage technologique?

Certains considèrent que, d'ici la fin du siècle, les avancées rapides de la technologie auront tellement dopé les rendements agricoles que toute baisse due au réchauffement du climat mondial sera facilement compensée. Mais le progrès technologique est une panacée illusoire, et ce pour plusieurs raisons.

Premièrement, la révolution verte s'essouffle déjà. Les calculs fondés sur des données de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture montrent que le rythme annuel d'accroissement des rendements céréaliers, qui était de 2,7 % dans les années 60 et 70, est revenu à 1,6 % au cours du dernier quart de siècle. Bien que la hausse des prix agricoles puisse constituer une incitation susceptible de ralentir, voire d'inverser cette tendance, rien ne le garantit.

Deuxièmement, même si le ralentissement s'interrompt, une course s'engagera sans doute entre la hausse de la demande alimentaire et la hausse de la production. La première devrait pratiquement tripler d'ici les années 2080, car la population mondiale et les revenus vont s'accroître. En outre, une grande partie des terres agricoles sera vraisemblablement recyclée pour produire la biomasse nécessaire à la fabrication d'éthanol. Par conséquent, l'équilibre entre l'offre et la demande est plutôt fragile et serait sérieusement compromis en cas de choc majeur lié au réchauffement.

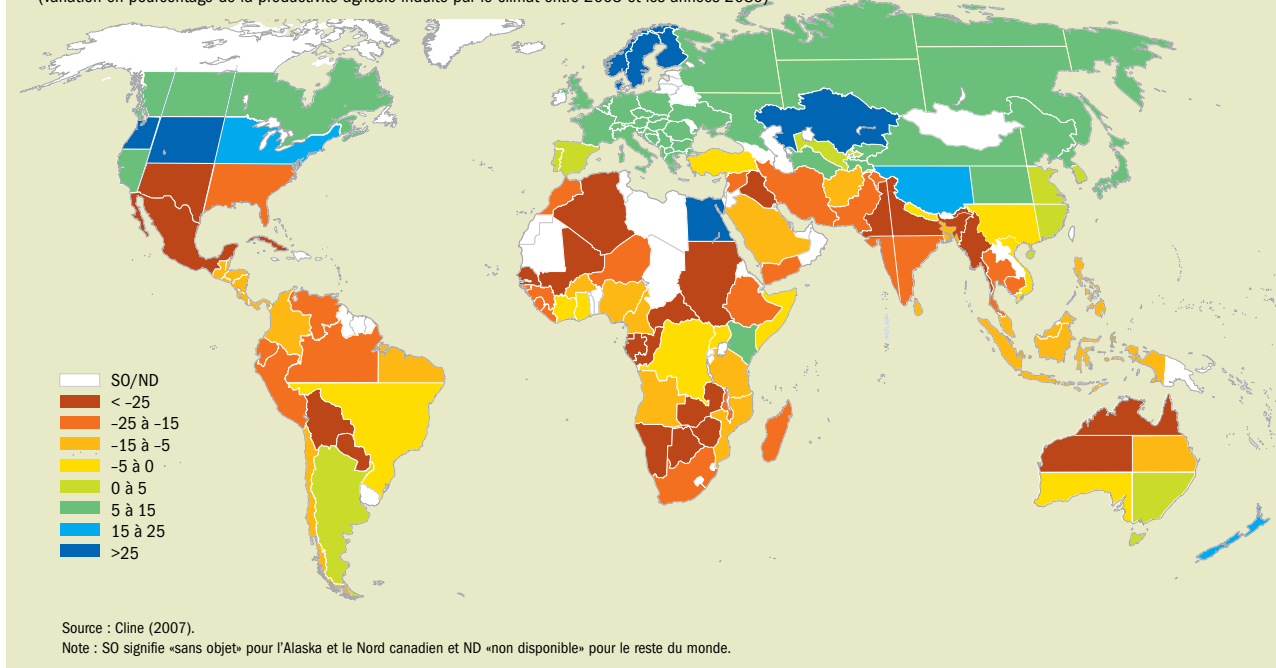
Les enjeux sont considérables

Les estimations de l'étude soulignent l'importance d'une action internationale coordonnée visant à limiter les émissions de CO₂ et à prévenir le réchauffement et ses dommages collatéraux pro-

Avec fertilisation au carbone

Si certaines plantes bénéficient de l'augmentation du dioxyde de carbone, l'impact mondial est moins désastreux et la productivité agricole pourrait augmenter dans les régions plus éloignées de l'équateur.

(variation en pourcentage de la productivité agricole induite par le climat entre 2003 et les années 2080)



bables : pertes agricoles, élévation du niveau de la mer, violence accrue des cyclones, etc.

En outre, les dommages effectifs seront vraisemblablement pires que ceux décrits ici. Ni les modèles cultureux ni les modèles ricardiens ne peuvent rendre compte de l'impact qu'aura la multiplication probable des phénomènes météorologiques extrêmes (sécheresse, inondations, prolifération d'insectes nuisibles). Les estimations négligent également les pertes agricoles dues à la montée du niveau de la mer, un problème pourtant crucial dans des pays comme le Bangladesh et l'Égypte. Plus fondamentalement, en ne réalisant qu'un instantané des années 2080, elles ne disent rien des dommages bien plus graves que provoquerait le réchauffement global encore plus important qui se produira au XXII^e siècle si l'on ne réduit pas les émissions de carbone.

Étant les plus exposés, les pays en développement ont donc intérêt à participer activement aux programmes internationaux de lutte contre les émissions. La Chine émet déjà plus de CO₂ que l'Union européenne et dépassera bientôt les États-Unis. Les émissions totales des pays en développement (dues notamment à la déforestation) égalent déjà celles des pays industrialisés et augmentent rapidement.

Il est frappant de noter que les deux principales économies en développement — l'Inde et la Chine — semblent avoir des intérêts divergents : sachant que le réchauffement pourrait avoir un effet globalement neutre, voire positif, sur son agriculture, la Chine pourrait être moins disposée à participer à la lutte mondiale contre les émissions que l'Inde, qui a probablement beaucoup à perdre si les politiques n'évoluent pas. Néanmoins,

même en Chine, certaines régions clés sont menacées par l'évolution du climat.

Heureusement, après la Conférence des Nations Unies sur le changement climatique tenue à Bali en décembre 2007, des négociations internationales devraient bientôt s'ouvrir en vue d'un accord qui succédera au Protocole de Kyoto en 2009. Malgré leurs réticences vis-à-vis des accords de Kyoto, les gouvernements américain et australien semblent désormais plus convaincus de la nécessité d'une coopération mondiale pour atténuer le changement climatique. Si des géants du monde en développement comme le Brésil, la Chine et l'Inde sont également plus disposés à agir, les négociations de l'après-Kyoto pourraient déboucher sur des mesures internationales cruciales. ■

William R. Cline est chargé de recherche principal à l'Institut Peterson d'économie internationale et au Centre pour le développement mondial.

Bibliographie :

Cline, William R., 2007, *Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country* (Washington: Center for Global Development and Peterson Institute for International Economics).

Rosenzweig, Cynthia, and Ana Iglesias, 2006, "Potential Impacts of Climate Change on World Food Supply: Data Sets from a Major Crop Modeling Study"; <http://sedac.ciesin.columbia.edu>; accessed August 9, 2006.

Mendelsohn, Robert, and Schlesinger, Michael E., 1999, "Climate Response Functions," *Ambio*, Vol. 28 (June), p. 362–66.