

Le changement climatique et l'économie

Natalia Tamirisa

LE CHANGEMENT climatique et les dommages qu'il causera sans doute placent les responsables nationaux face à un dilemme : d'une part, il n'est pas sûr que les actions menées seront efficaces et, de toute manière, elles bénéficieront surtout aux générations futures, alors qu'elles risquent d'avoir un coût énorme à court terme; d'autre part, l'inaction aurait un coût irréversible, peut-être catastrophique, qui retombera probablement davantage sur les pays pauvres que sur les pays développés. De plus, même si les émissions de gaz à effet de serre (GES) qui s'accumulent dans l'atmosphère et réchauffent le climat s'arrêtaient immédiatement, les températures continueraient d'augmenter pendant encore plusieurs décennies à cause des émissions passées.

Pour toutes ces raisons, les responsables économiques admettent désormais qu'il faudra s'organiser à la fois pour atténuer le réchauffement de la planète, en faisant ralentir puis diminuer les émissions de GES, et pour s'adapter aux effets des émissions passées et à venir. Ils n'ignorent pas non plus que les mesures de modération peuvent avoir rapidement des conséquences considérables.

Pour mieux comprendre quels effets les mesures de modération auraient sur les économies nationales, le FMI a récemment comparé diverses mesures envisageables : taxes sur les émissions de GES, échange de permis d'émission, et formules hybrides conjuguant certains éléments des deux. Le résultat est encourageant : l'analyse révèle qu'il est possible de faire face au changement climatique sans compromettre la stabilité macroéconomique et la croissance ni mettre à contribution de façon disproportionnée les pays les moins à même d'assumer le coût que cela implique. Autrement dit, pour peu que les actions envisagées soient bien conçues, leur coût économique devrait être gérable.

L'économie ne pâtira pas forcément de la réduction des gaz à effet de serre

Les dommages économiques potentiels

Selon les scénarios à politique inchangées, le risque est considérable que le climat mondial change radicalement d'ici la fin du siècle. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2007) estime que, faute d'une réduction des émissions, les températures mondiales augmenteront de 2,8 degrés C en moyenne d'ici 2100 (les hausses les plus plausibles allant de 1,8 degré C à 4 degrés C dans le *Special Report on Emissions Scenarios*). La probabilité d'augmentations plus marquées des températures n'est pas négligeable. Nicholas Stern (2008) note que si les concentrations de GES, à politiques inchangées, se stabilisent à 750 parties par million (ppm) en équivalent CO₂ ou au-dessus d'ici la fin du siècle, comme les derniers scénarios du GIEC l'indiquent, la probabilité est d'au moins 50 % que les températures mondiales augmentent de plus de 5 degrés C, avec des conséquences qui pourraient être désastreuses pour la planète.

Toute estimation des dommages causés à l'économie par le changement climatique est entachée de nombreuses incertitudes. Dans son scénario de référence (qui inclut des émissions relativement élevées, les effets sur les marchés et en dehors, et le risque de catastrophe), Stern situe la perte de PIB par habitant d'ici 2200 entre 3 et 35 % (intervalle de confiance de 90 %), l'estimation centrale étant de 15 % (graphique 1, panneau 1). Cette incertitude quant aux dégâts occasionnés par le changement climatique tient à plusieurs facteurs. Premièrement, les connaissances scientifiques sur les processus physiques et écologiques qui sous-tendent le changement climatique sont loin d'être parfaites. Personne ne sait avec certitude à quel rythme les GES s'accumuleront dans l'atmosphère, à quel point les systèmes climatiques et biologiques seront sensibles à la concentration de ces gaz et où se trouve le point de «non-retour», au-delà duquel se produiraient des événements catastrophiques, tels que la fonte de la calotte glaciaire ou du pergélisol de l'Antarctique occidental, une modification du cycle des moussons ou l'inversion de la circulation thermohaline atlantique. Deuxièmement, il est difficile de savoir comment les gens pourront s'adapter aux nouvelles conditions climatiques. Et troisièmement, comment donner une valeur actuelle aux dommages qui seront assumés par les générations futures?

En outre, la faiblesse des estimations des dommages mondiaux masque de vastes disparités entre pays (partie inférieure du graphique 1). Le changement climatique affectera plus tôt et plus gravement les pays moins développés, selon la taille de leurs économies. En effet, celles-ci reposent sur des secteurs tributaires du climat (agriculture, sylviculture, pêche et tourisme), ont des populations en moins bonne santé qui sont donc plus vulnérables aux changements environnementaux et offrent moins de services publics, lesquels sont en général de moindre qualité. Parmi les régions qui souffriront sans doute le plus figurent l'Afrique, l'Asie du Sud et du Sud-Est et l'Amérique latine. L'Inde et l'Europe sont exposées aux catastrophes que pourraient entraîner une modification du cycle des moussons pour la première et l'inversion de la circulation thermohaline atlantique pour la seconde. En revanche, la Chine, l'Amérique du Nord, les pays avancés d'Asie et les pays en transition (en particulier la Russie) sont moins vulnérables et pourraient même tirer leur épingle du jeu en cas de réchauffement limité (de meilleures récoltes, par exemple).

Faciliter l'adaptation

Sachant que les sociétés ont toujours réussi à s'adapter à l'évolution du climat, on peut s'attendre à ce que les individus et les entreprises fassent de même à l'avenir, par exemple en cultivant des plantes plus résistantes aux sécheresses et en s'éloignant des zones côtières exposées aux inondations et aux ouragans. Il faudra aussi que les pouvoirs publics participent au processus d'adaptation pour remédier aux carences du marché (incapacité des entreprises et des ménages d'intégrer les retombées sociales de l'adaptation dans leurs décisions), fournir les biens et services publics nécessaires à l'adaptation, ou aider le secteur privé quand il a du mal à s'adapter, par exemple dans les pays pauvres.

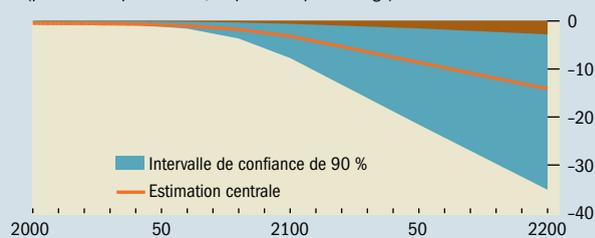
Peu d'analyses quantitatives ont été effectuées sur les coûts d'adaptation, mais, d'après les études d'impact pour le secteur public, l'adaptation pourrait grever les budgets, en particulier dans les pays en développement qui ont peu de moyens et qui pâtiront gravement du changement climatique. Pour ces pays, les estimations se chiffrent en dizaines de milliards de dollars par an, ce qui est comparable à ce que devront supporter les pays avancés. De plus, il est probable que ces estimations soient en deçà

Graphique 1

La température monte, les coûts aussi

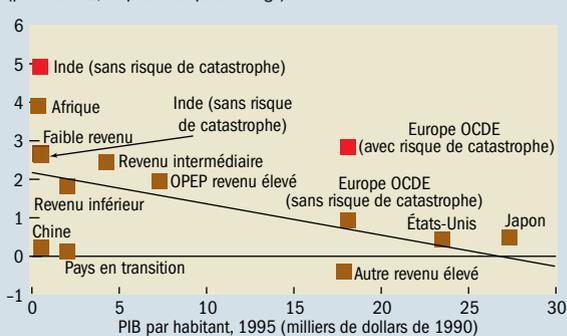
Plus les estimations sont à longue échéance, plus l'incertitude s'accroît quant aux effets planétaires du réchauffement climatique, ...¹

(perte de PIB par habitant, en points de pourcentage)



... mais il est clair que les pays émergents et en développement seront touchés de façon disproportionnée².

(perte de PIB, en points de pourcentage)



Sources : Stern (2007); Nordhaus and Boyer (2000).

¹Le graphique présente des estimations tirées du Rapport Stern sur la base du scénario de référence pour le changement climatique, qui prévoit une hausse de la température de 3,9 °C d'ici 2100. Les effets sur les marchés et en dehors ainsi que le risque de catastrophe sont pris en compte.

²Effet d'un réchauffement de 2,5 °C. La ligne de régression ne comprend que les observations sans risque de catastrophe. Voir Nordhaus and Boyer (2000) pour connaître la composition groupes de pays.

de la vérité, car elles n'intègrent pas certains coûts probables, liés notamment à l'instabilité accrue des systèmes climatiques.

Un pays qui veut améliorer sa capacité d'adaptation au changement climatique doit agir avant tout dans les domaines suivants :

Développement économique et institutionnel. Le développement aide les pays à se diversifier en délaissant les secteurs trop exposés, améliore l'accès à la santé, à l'éducation et à l'eau, et réduit la pauvreté. Des institutions de meilleure qualité renforcent aussi la capacité d'un pays de s'adapter au changement.

Auto-assurance budgétaire. Les budgets publics doivent prévoir des dépenses d'adaptation et les systèmes de protection sociale doivent être renforcés, surtout dans les pays le plus touchés. Un financement extérieur sera nécessaire pour aider les pays les plus pauvres dont les ressources intérieures sont nettement insuffisantes. À cet égard, l'ONU vient de lancer une initiative pour réunir ce financement, ce qui est un pas dans la bonne direction.

Choix du régime de change et des mesures concernant l'emploi et le secteur financier. Ces choix peuvent encourager les entreprises et la main-d'œuvre à s'adapter aux chocs (par exemple un changement soudain des conditions atmosphériques) souvent liés au changement climatique. Un régime de change souple et des réformes visant à rendre le capital et le travail plus adaptables pourraient réduire le coût macroéconomique de ces changements brusques. En règle générale, ces chocs détruisent les investissements en capital et perturbent la production; pour les surmonter, il faut pouvoir redéployer la main-d'œuvre et le capital entre les secteurs et à l'intérieur des secteurs. Beaucoup de ces mesures peuvent être appliquées assez vite sans trop solliciter le budget de l'État.

Marchés financiers. Ils peuvent réduire le coût macroéconomique de l'adaptation en lançant des signaux de prix capables d'inciter les gens à se déplacer vers les zones moins vulnérables et en orientant le capital vers les secteurs et les régions devenus productifs (voir «L'écologisation des marchés» dans ce numéro). En diversifiant les coûts et en redistribuant les risques vers ceux qui sont le plus disposés et le plus à même de les assumer, les marchés financiers aideront aussi à réduire les coûts sociaux de l'adaptation.

Limiter les émissions de GES

Mais l'adaptation ne suffit pas. Pour atténuer les conséquences du réchauffement planétaire, il faut réduire les émissions de GES. En donnant à ces émissions un prix proportionnel aux dommages qu'elles causent, on inciterait les consommateurs et les entreprises à se détourner de la production et de la consommation de biens engendrant beaucoup de pollution au profit des biens et des technologies propres. Le prix des émissions de GES est souvent appelé «taxe sur le carbone» — de tous les GES, c'est le dioxyde de carbone qui pollue le plus.

Les pouvoirs publics ont envisagé de nombreux outils pour atténuer les effets du changement climatique : des *taxes sur les émissions de GES* (taxes sur le carbone), des *systèmes combinant limitation et échange*, par lesquels les pouvoirs publics limitent la quantité d'émissions des entreprises mais les autorisent à échanger leurs droits de polluer, et des *mesures hybrides* qui combinent des éléments des deux formules.

Parmi les mesures d'atténuation fondées sur le marché, lesquelles fonctionnent le mieux? Par rapport aux dispositifs de limitation/échange, les taxes sur le carbone ont l'énorme avantage

de permettre la fixation d'un prix stable pour les émissions, ce dont les entreprises ont besoin pour décider d'investir à long terme dans des technologies peu polluantes. Elles produisent aussi des recettes qui peuvent être consacrées à l'efficacité (en réduisant d'autres taxes) ou de l'équité (en compensant les groupes défavorisés par les mesures prises). Cependant, les taxes sur le carbone ne garantissent pas la réduction des émissions et peuvent être politiquement difficiles à imposer. Cela dit, il est possible de réduire les inconvénients des dispositifs de limitation/échange en créant un instrument hybride. Par exemple, on peut réduire la volatilité des prix au moyen de soupapes de sécurité qui permettraient aux pouvoirs publics de vendre des permis provisoires lorsque les prix dépasseraient un certain «seuil» fixé à l'avance. Des mesures hybrides permettraient aussi le ciblage simultané du prix des émissions (à court terme) et du niveau des émissions (à long terme).

Le pour et le contre des mesures d'atténuation

Quel sera le coût économique d'une mesure d'atténuation donnée pour l'économie mondiale et pour les économies nationales? Le FMI s'y est penché à l'aide d'un modèle dynamique mondial, la version 2007 du modèle «G-cubed» (G³) (McKibbin and Wilcoxon, 1998) (encadré).

Taxe sur le carbone et formule hybride avec soupape de sécurité. La modélisation commence par l'examen des effets macroéconomiques d'une mesure d'atténuation mondiale exigeant des pays qu'ils s'entendent sur un prix commun pour les émissions de carbone : une taxe uniforme sur le carbone ou une formule hybride engageant les pays à recourir à une soupape de sécurité commune

Le modèle «G³»

Le modèle G³ est particulièrement utile pour évaluer, sur longue période et en fonction du pays considéré, les effets qu'aurait la fixation d'un prix pour les émissions de carbone. La modélisation des prix relatifs aide à comprendre comment la hausse du prix des émissions de carbone encouragerait l'abandon des technologies polluantes au profit de techniques plus propres, réorienterait les dépenses au détriment des biens générateurs d'émissions et influencerait sur les termes de l'échange et la balance des paiements. Cette dernière rend compte non seulement des flux commerciaux, mais aussi des flux internationaux de capitaux, qui ne sont guère pris en compte dans les modèles utilisés jusqu'ici pour analyser l'action des pouvoirs publics face au changement climatique.

Les bienfaits que produisent à terme les mesures d'atténuation, sous forme d'une réduction des émissions, ne sont pas inclus dans le modèle, mais cela ne diminue pas la validité de l'analyse, qui s'intéresse aux coûts de ces mesures pendant les trois décennies suivant leur adoption. Pendant ce laps de temps, compte tenu du délai nécessaire pour qu'une variation du volume des émissions influe sur le climat, on ne s'attend pas à ce que ces mesures produisent des bienfaits spectaculaires. Les simulations du modèle ont pour but d'illustrer les mécanismes économiques qui s'enclenchent après leur adoption et il ne faut pas y voir des prévisions macroéconomiques à long terme. Même si les autres sources d'énergie disponibles, telles que les biocarburants, l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables, ne sont pas intégrées explicitement dans le modèle, le remplacement des combustibles fossiles par du capital ainsi que les économies d'énergie peuvent être interprétés comme un mouvement vers ces sources d'énergie. Par hypothèse, les technologies sont transférables entre pays.

(le prix des permis supplémentaires étant fixé au taux de la taxe sur le carbone). Par hypothèse, tous les pays auront adopté un prix commun pour le carbone en 2013 et auront pris l'engagement de le maintenir à long terme, en le modifiant au besoin selon l'évolution des émissions au niveau mondial, avec un pic vers 2018 puis une baisse progressive jusqu'à 40 % des niveaux de 2002 à l'horizon 2100. Cette évolution correspond plus ou moins à une stabilisation des concentrations en équivalent CO₂ à 550 ppm en volume d'ici 2100. Ainsi, le prix des émissions de carbone devrait augmenter progressivement, pour atteindre 86 dollars la tonne en 2040 (un taux annuel moyen d'environ 3 dollars la tonne de carbone). Cela correspond à une augmentation de 21 cents du prix du gallon d'essence d'ici à 2040 et à une hausse de 58 dollars du prix d'une tonne courte de charbon gras.

Obligées de payer leurs émissions, les entreprises commencent à revoir leurs techniques, délaissant celles qui rejettent beaucoup de carbone. Les ménages modifient leurs habitudes de consommation, en abandonnant eux aussi les biens à forte intensité carbonique. La hausse des prix des émissions faisant monter les coûts des entreprises, la productivité et la production baissent. L'investissement global diminue avec le rendement marginal moyen du capital et la consommation suit la baisse de revenus réels. En faisant des prévisions, les entreprises et les ménages réagiraient immédiatement à l'évolution anticipée des prix, ce qui rendrait plus efficace l'action des pouvoirs publics. Même si le niveau d'activité réelle diminue par rapport au scénario de référence, le choc n'a qu'un effet temporaire sur les taux de croissance du PNB : à terme, ils reviennent au niveau de référence. Les comptes courants tendent à s'améliorer dans les pays qui réduisent fortement les émissions, car l'investissement y diminue davantage que l'épargne.

Au total, le coût de la dépollution varie d'un pays à l'autre, selon l'efficacité avec laquelle les pays réduisent les émissions et selon l'ampleur de cette réduction. Dans le modèle G³, le coût est le plus élevé en Chine, pays de loin le moins efficace sur le plan énergétique (neuf fois plus d'émissions par unité produite que le Japon et cinq fois plus que les États-Unis). Il est supposé que la Chine peut minimiser le coût de ses émissions en améliorant l'efficacité énergétique des entreprises et des ménages. La valeur actuelle nette (VAN) de la consommation y diminue d'environ 2 % par rapport au scénario de référence à l'horizon 2040 (graphique 2). Dans le reste du monde, cette baisse n'est que de 0,6 % environ sur la même période. Par rapport à l'ensemble des biens produits, le coût est plus élevé, la VAN du PNB mondial diminuant d'environ 2 % par rapport au scénario de référence à l'horizon 2040. Mais le PNB mondial serait 2,3 fois plus élevé en 2040 qu'en 2007. (L'étude retient le PNB comme mesure de la production, car, contrairement au PIB, il tient compte de la valeur des transferts entre pays, qui peuvent avoir lieu dans le cadre des dispositifs de limitation/échange des droits d'émission.)

D'après le modèle G-cubed, le coût total des mesures d'atténuation est plus élevé que dans bien d'autres études, mais reste dans la fourchette des estimations du GIEC. Cet écart s'explique par le fait que l'étude table sur un scénario de référence où la croissance des émissions est assez forte et s'appuie sur des hypothèses basses pour la disponibilité de techniques d'appui, qui permettent de produire sans émettre de GES.

Limitation et échange. Ensuite, l'étude compare les effets des mesures fondées sur les prix et ceux d'une politique mondiale

imposant aux pays de s'entendre sur une répartition initiale des droits d'émission et sur l'échange international de ces droits. Chaque économie reçoit des droits pour chaque année à partir de 2013, selon sa part des émissions mondiales en 2012. Les permis d'émission peuvent être négociés sur un marché international, qui établit un prix commun. Les pays où le coût marginal de dépollution (coût d'une réduction marginale des émissions) est élevé achètent des permis à ceux où ce coût est plus faible, les compensant ainsi pour avoir pris des mesures d'atténuation plus ambitieuses. Par conséquent, dans chaque pays, l'évolution des émissions s'écarte de l'allocation initiale de permis, mais, au niveau mondial, les émissions évoluent conformément au profil prescrit.

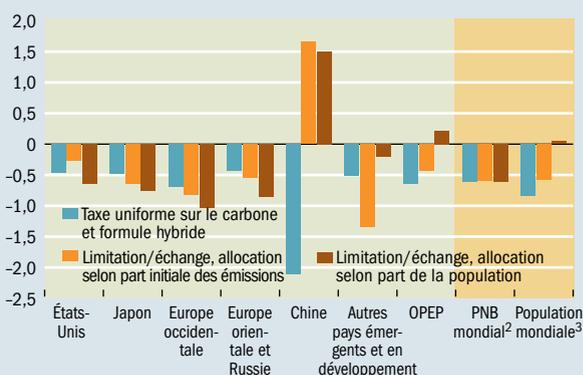
Pour la plupart des pays, les transferts sont faibles et les effets macroéconomiques du dispositif de limitation/échange sont semblables à ceux de la taxe sur le carbone et de la formule hybride. À l'horizon 2040, les transferts atteignent 10 % du PNB pour la Chine (bénéficiaire), -2 % pour les autres pays émergents et en développement (payeurs) et 1 % pour les pays de l'OPEP (bénéficiaires). La Chine reçoit plus de transferts parce qu'elle utilise l'énergie de façon relativement inefficace et donc, dans le modèle G³, il est supposé qu'elle peut réduire les émissions à un coût bien moindre que les autres pays. Les pays avancés et les autres pays émergents et en développement achètent des droits d'émission à la Chine parce que la réduction des émissions est très coûteuse pour eux. Pour les pays qui payent les transferts (Europe, Japon, Russie et autres pays émergents et en développement), le coût est plus élevé dans le cadre du dispositif de limitation/échange qu'avec la taxe sur le carbone ou la formule hybride, et il est faible pour les pays qui bénéficient des transferts (Chine, OPEP et États-Unis). Les observations concernant la direction et l'ampleur des transferts sont très sensibles aux hypothèses sur le coût de dépollution supplémentaire dans les pays, ainsi qu'à la

Graphique 2

Coût de la réduction des émissions de carbone

À l'échelle mondiale, le coût¹ des mesures d'atténuation pourrait être modéré entre 2013 et 2040, mais varier d'un pays à l'autre.

(écart de la consommation par rapport au scénario de référence, en pourcentage)



Source : estimations des services du FMI.

¹Le coût est mesuré par la valeur actuelle nette de la différence entre la trajectoire de consommation pendant l'application des mesures indiquées et la trajectoire de consommation dans le scénario de référence, divisée par la valeur actuelle nette de la trajectoire de consommation dans le scénario de référence. Le taux d'actualisation reste constant dans le temps et pour tous les pays, soit 2,2 %, qui est la différence entre les taux d'intérêt mondiaux à long terme et les taux de croissance tendanciels du PNB. La valeur actuelle nette de la consommation agrège les variations de la consommation dans le temps.

²Pondéré par la part dans le PNB de 2013.

³Pondéré par la part de la population en 2013.

conception des dispositifs de limitation/échange, en particulier la règle utilisée pour l'allocation internationale des permis.

Si la plupart des études prédisent que les pays avancés (Europe occidentale et Japon surtout) devront acheter des permis d'émission, il n'existe aucun consensus pour les pays émergents. Leur potentiel de croissance est élevé, ce qui laisse entrevoir une forte demande de droits d'émission à l'avenir, mais ils émettent aussi d'énormes quantités de CO₂ par unité produite. Leur marge est donc grande pour améliorer leur efficacité énergétique et, partant, pour vendre des droits d'émission.

Autres clés de répartition possibles. La structure des transferts internationaux et les effets macroéconomiques des dispositifs de limitation/échange dépendent grandement du mode d'allocation des droits d'émission. Supposons que chaque pays reçoive des droits non pas selon sa part initiale des émissions, mais selon sa part de la population mondiale pour chaque année à partir de 2013. Cela modifierait à fond la structure et les effets macroéconomiques des échanges internationaux de permis, car les autres pays émergents et en développement vendraient alors des permis et recevraient des transferts représentant 1 % du PIB en 2020 et 2030, ce qui réduirait le coût des mesures d'atténuation pour ces pays.

Principes directeurs

Quels enseignements en tirer pour les responsables soucieux de limiter les effets macroéconomiques défavorables des mesures d'atténuation? La tarification des émissions de carbone doit :

- **Être crédible et durable.** Il importe d'établir une trajectoire fiable d'augmentation régulière des prix du carbone pour le public et les entreprises. Dès lors, il n'est pas nécessaire que la hausse soit très élevée : par exemple, une augmentation initiale de 1 cent du prix du gallon d'essence suivie d'une hausse supplémentaire de 2 cents tous les trois ans. Engagée tôt, cette augmentation progressive permettrait d'étaler le coût de l'ajustement sur une plus longue période.

- **Obliger tous les groupes de pays (avancés, émergents et en développement) à fixer d'abord un prix pour leurs émissions.** Tout dispositif excluant les pays émergents et en développement (en particulier les vastes économies en plein essor que sont le Brésil, la Chine, l'Inde et la Russie), par exemple, avec un retard ou des objectifs initialement moins contraignants serait très coûteux et politiquement intenable, car, d'après les projections, 70 % des émissions des cinquante prochaines années proviendront de ces pays.

- **Fixer un prix mondial commun pour les émissions.** Ainsi, on pourrait réduire les émissions là où cela coûte le moins. Les pays émergents et en développement, en particulier, pourront sans doute réduire leurs émissions à un coût bien moindre que les pays avancés. Si la Chine et l'Inde ont accès aux mêmes technologies que le Japon et l'Europe, elles pourront réduire sensiblement leurs émissions en améliorant leur efficacité énergétique et en utilisant moins de charbon. La différence de coût peut être considérable : à l'échelle mondiale, le coût sera inférieur de 50 % si le prix du carbone est le même pour tous. Les pays devront harmoniser la taxe sur le carbone, coordonner les prix de déclenchement de la soupape de sécurité prévue par les formules hybrides ou permettre l'échange international des permis d'émission dans les dispositifs de limitation/échange.

- **Être assez souple pour supporter les fluctuations du cycle économique.** En période de forte demande, il en coûterait davantage aux entreprises de réduire leurs émissions, et inversement en cas de faible demande. Les coûts d'atténuation pourraient être réduits si les entreprises pouvaient moduler leurs émissions selon le cycle économique. Cela permettrait de parvenir à un niveau moyen de réduction à moyen terme. Contrairement aux taxes sur le carbone et aux formules hybrides, les dispositifs de limitation/échange pourraient se révéler restrictifs en période de forte croissance à cause de la hausse de la demande et des prix des permis d'émission, à moins de neutraliser la volatilité des prix.

- **Répartir équitablement le coût des mesures d'atténuation entre les pays.** Certaines mesures d'atténuation (taxe uniforme, système de limitation/échange allouant les permis en proportion des émissions des différents pays, ou formule hybride) imposeraient un coût élevé à certains pays émergents et en développement. Des transferts transnationaux substantiels seraient donc nécessaires pour les encourager à participer et à combattre les effets négatifs. Le recours à des ajustements de taxe à la frontière pour inciter les pays à participer pourrait susciter une réaction protectionniste qui nuirait aux efforts d'atténuation.

En outre, la tarification des émissions de carbone devra être complétée par des politiques macroéconomiques et financières adéquates. Par exemple, dans le cadre du système mondial de limitation/échange, les transferts des pays industriels achetant des permis aux pays émergents et en développement pourraient atteindre un montant élevé. En diminuant le coût de la tarification pour les pays émergents et en développement, ces transferts les encourageraient à participer. Cependant, les transferts peuvent aussi entraîner une appréciation réelle de la monnaie des pays bénéficiaires et rendre ainsi moins compétitifs certains secteurs de leur économie. Les effets macroéconomiques de cette nature peuvent être atténués si les pays économisent une partie de ces capitaux, continuent à améliorer le climat des affaires et, si leur régime de change le permet, laissent l'appréciation s'opérer au moins en partie par le biais du taux de change nominal plutôt que par l'inflation. ■

Natalia Tamirisa est Chef de division au Département des études du FMI.

Bibliographie :

Fonds monétaire international, 2008, "Climate Change and the Global Economy," World Economic Outlook, April (Washington).

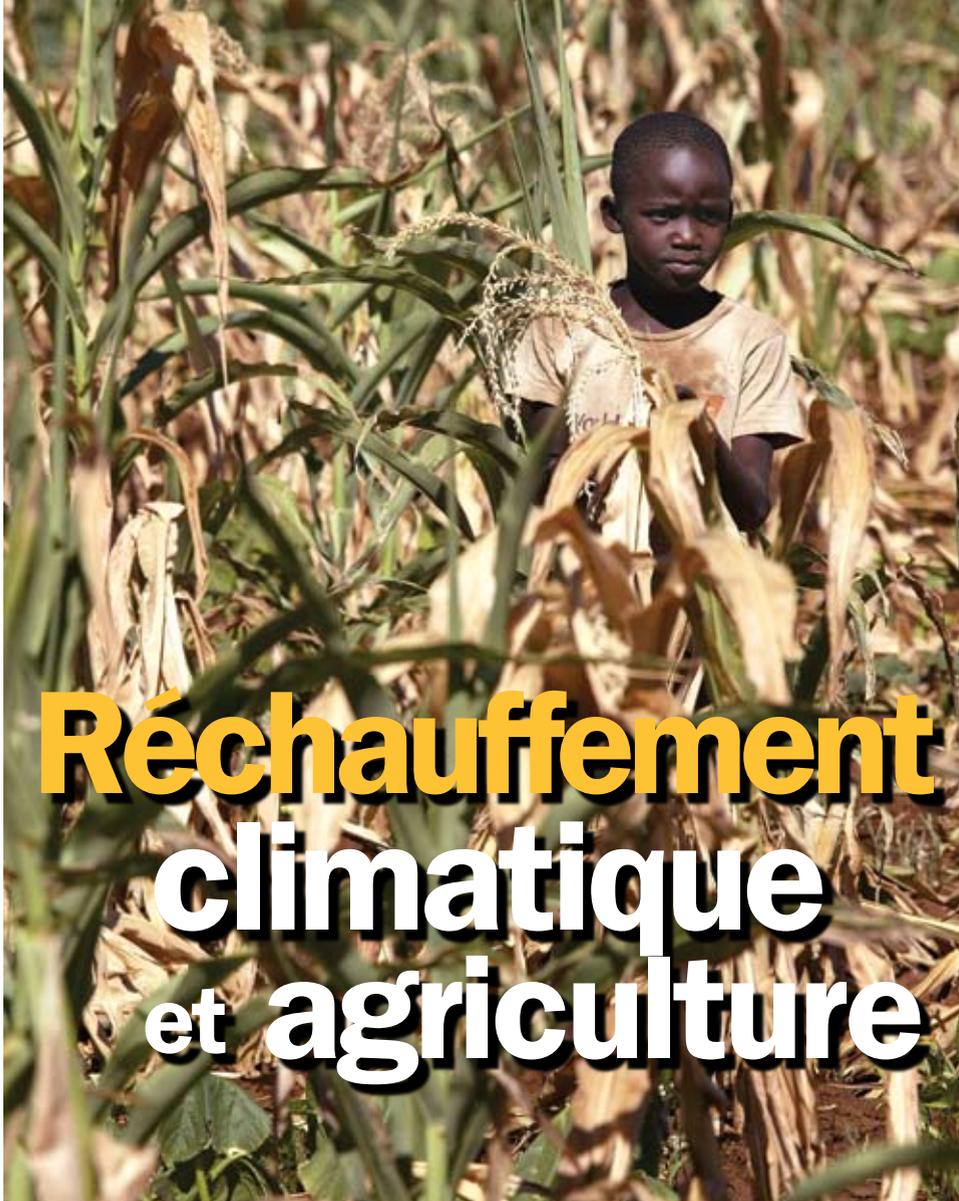
Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007, Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, ed. by B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, and L.A. Meyer (Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press).

McKibbin, Warwick J., and Peter J. Wilcoxon, 1998, "The Theoretical and Empirical Structure of the G-Cubed Model," Economic Modelling, Vol. 16 (January), p. 123-48.

Nordhaus, William, and Joseph Boyer, 2000, Warming the World: Economic Models of Global Warming (Cambridge, Massachusetts: MIT Press).

Stern, Nicholas 2008, "The Economics of Climate Change," Richard T. Ely Lecture, AEA meetings, New Orleans, January 4.

———, and others, 2007, The Economics of Climate Change: The Stern Review (Cambridge: Cambridge University Press).



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 culturel 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).

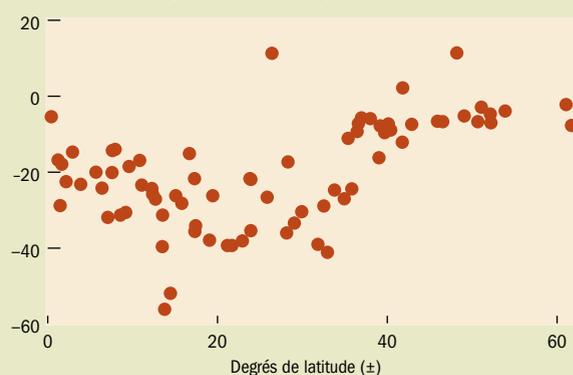
Note : Les modèles ricardiens déduisent de manière statistique la contribution de la température et des précipitations à la productivité agricole en examinant les liens entre le prix des terres et le climat, tandis que les modèles cultureaux relient la production agricole à la qualité des terres, au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

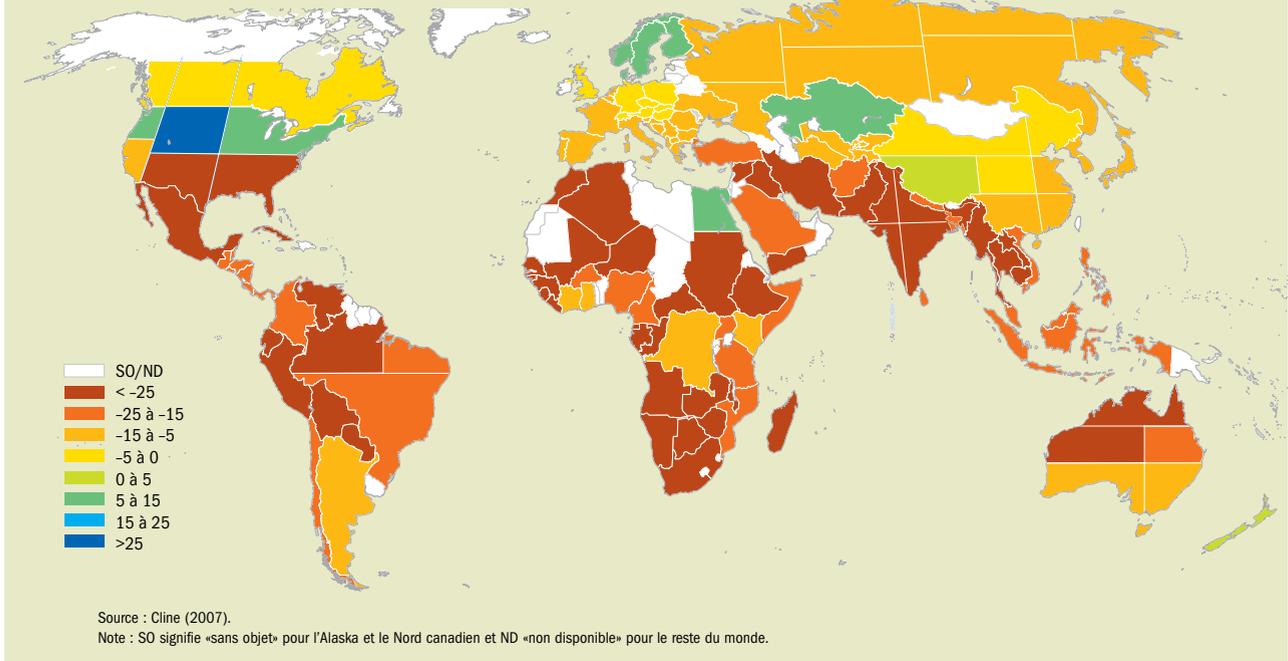
En *Amérique du Nord*, l'écart entre nord et sud est saisissant. En moyenne, la productivité agricole aux *États-Unis* devrait baisser de 6 % sans fertilisation carbonée et augmenter d'au

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.

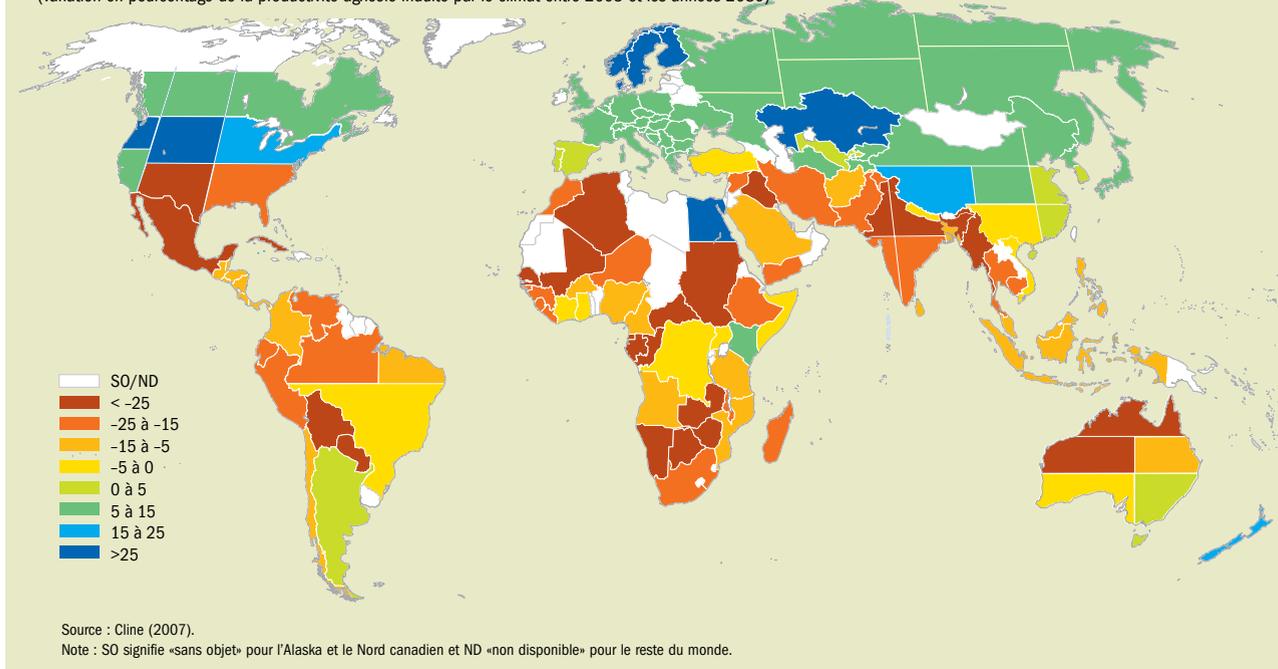
Les enjeux sont considérables

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.

Le prix du changement climatique

Les pays doivent encourager les ménages et les entreprises à combattre le changement climatique et à s'y adapter

*Benjamin Jones,
Michael Keen
et Jon Strand*



Fumées d'usines à Eureka, en Californie, États-Unis.

SELON LES climatologues, le réchauffement de la planète résulte de l'activité humaine. Mais de profondes incertitudes persistent quant à la nature et à la portée des risques encourus. Les économistes peuvent proposer des mesures raisonnables pour parer aux risques qui sous-tendent ces incertitudes. En particulier, les économistes spécialisés en finances publiques peuvent réfléchir au rôle éventuel des instruments budgétaires (fiscalité et dépenses publiques, notamment) dans la lutte contre le changement climatique.

Les mesures prises par les pays pour atténuer le changement climatique et s'y adapter sont interdépendantes (et peu ou prou interchangeables), mais diffèrent à maints égards. C'est surtout par le biais des marchés privés que l'adaptation, qui appelle souvent de légères modifications des comportements, s'effectuera, même si elle doit être favorisée par des interventions publiques — l'amélioration des prévisions météorologiques, par exemple.

L'atténuation, en revanche, requiert une stratégie volontariste. L'adaptation peut, et devrait, en grande mesure être reportée

jusqu'à ce que le processus climatique ait évolué : il est absurde de s'adapter aujourd'hui à des changements dont la plupart surviendront dans 30 à 100 ans. L'atténuation doit débiter bien avant les dommages qu'elle cherche à éviter, car ceux-ci ne dérivent pas des émissions actuelles mais des gaz à effet de serre (GES) à disparition lente cumulés dans l'atmosphère.

Le présent article fait valoir que les instruments budgétaires ont un rôle clé — voire indispensable — dans l'atténuation et l'adaptation. Il analyse les moyens par lesquels des politiques budgétaires efficaces peuvent concourir à minimiser les effets négatifs du changement climatique et examine les stratégies envisageables. Les instruments budgétaires ne suffisent pas à résoudre le problème. Mais les taxes et les politiques de dépenses publiques permettront de bien encourager les ménages et les entreprises et d'assurer une répartition équitable des coûts et bénéfiques connexes. Elles permettront de veiller à ce que les responsables des émissions de GES néfastes au climat payent le prix juste, et apporteront les moyens nécessaires pour remédier au problème.

L'adaptation : combien pourrait-elle coûter?

Même avec une politique budgétaire inchangée, le changement climatique peut avoir des retombées sur les recettes fiscales (érosion de l'assiette fiscale résultant du recul de la productivité agricole ou de l'intensification des phénomènes météorologiques extrêmes, tempêtes, inondations et sécheresses) et les dépenses publiques (pour faire face à la prévalence croissante du paludisme, par exemple). Parfois, l'effet net pourrait s'avérer positif mais, globalement, les problèmes auxquels se heurtent les pays généralement les plus atteints par le changement climatique (souvent les plus pauvres) devraient s'amplifier.

La hausse du niveau des mers, les pertes de productivité dans les secteurs tributaires du climat comme le tourisme et l'agriculture, l'intensification, voire la périodicité accrue, des phénomènes météorologiques comptent parmi les effets négatifs des évolutions climatiques futures, qui peuvent tous nuire aux positions budgétaires et à la stabilité externe.

Mis à part des phénomènes catastrophiques tels que la fonte de la calotte glaciaire dans l'Antarctique de l'Ouest, les sociétés humaines s'adapteront probablement à la plupart de ces évolutions, mais cela entraînera des coûts. Les moyens de minimiser ces coûts et la façon dont les autorités peuvent intervenir au mieux ne sont pas toujours patents. En général, la solution optimale ne consiste pas en une adaptation intégrale visant à éliminer tous les effets du changement climatique : il serait tout simplement trop coûteux de prévenir tous les dommages. Il est également difficile de choisir entre des précautions anticipées et l'attente d'informations plus précises. La décision d'effectuer des investissements à fonds perdus dans le renforcement des défenses côtières semblera avisée si les problèmes d'ondes de tempête s'aggravent, mais paraîtra aberrante dans le cas contraire.

L'ampleur des coûts d'adaptation est très mal définie. Selon Tol, 2005, ils représentent au plus 25 % du coût des retombées climatiques. Si le doublement de la concentration des GES (dans l'hypothèse d'une stabilisation des émissions au cours du siècle) représente un coût de 1–2 % du PIB mondial, l'adaptation coûterait 0,2–0,5 % de ce PIB, soit 70 à 150 milliards de dollars par an. Selon la Banque mondiale (2006), les coûts annuels d'adaptation totaliseraient des dizaines de milliards de dollars pour les pays à faible revenu.

Étant donné l'importance, à cet égard, de biens publics tels que les défenses côtières et l'offre de soins, une part notable de ces coûts devrait incomber au secteur public, mais leur montant est encore moins bien défini : la Banque mondiale estime, par exemple, que les pouvoirs publics assumeront près du tiers des coûts d'adaptation. Pour bien se préparer aux risques financiers liés à l'adaptation au changement climatique, une définition plus précise des coûts budgétaires qui lui sont associés s'impose d'urgence à l'échelon des pays.

L'atténuation : remédier aux défaillances du marché

Afin d'atténuer les émissions de GES, il faudra des instruments budgétaires pour pallier une défaillance profonde du marché — le problème classique de l'opportunisme. Le problème est simple : les particuliers, les entreprises et les administrations publiques n'ont pas suffisamment d'incitations à limiter leurs émissions de GES. En effet, alors qu'ils supportent tous les coûts, les avantages (liés à l'atténuation du réchauffement climatique) profitent à l'ensemble de la communauté mondiale. D'où des

émissions excessives et l'insuffisance des travaux de développement de substituts aux combustibles fossiles.

À l'échelon local ou national, la réduction de la consommation de combustibles fossiles aura peut-être des avantages connexes, sous la forme d'une baisse de la pollution, mais cela ne résout pas le problème fondamental : chacun préférerait que d'autres se chargent de réduire les émissions mondiales. En outre, les bienfaits des mesures d'atténuation actuelles profiteront surtout aux générations futures, de sorte que l'utilité des coûts engagés aujourd'hui dépend de l'importance que l'on attache au bien-être de ces générations, et de la mesure dans laquelle on peut prévoir qu'elles seront mieux loties que nous. Le taux d'actualisation utilisé pour comparer les coûts actuels et les avantages futurs s'avère donc crucial dans l'évaluation et la formulation de mesures associées au climat — encore plus que dans d'autres analyses de rentabilité, vu la longueur inhabituelle des horizons temporels concernés.

La deuxième défaillance du marché a trait à la mise au point de nouvelles techniques énergétiques qui permettront de réduire notablement les émissions de GES. Les activités de recherche et développement (R-D) seront (et, par souci d'efficacité, devraient être) conduites, pour l'essentiel, par des particuliers et des entreprises en quête de bénéfices commerciaux. Mais ceux-ci ne pourront généralement pas monopoliser les avantages sociaux dérivant de leurs innovations; il existe donc un risque de sous-investissement dans la R-D dans ce domaine.

Il en va de même pour la R-D réalisée dans des secteurs étrangers au changement climatique, et bien des gouvernements accordent déjà de généreux allègements fiscaux et d'autres aides financières à la R-D commerciale. Mais, compte tenu de l'importance aujourd'hui attachée à la recherche sur le climat et l'énergie, sécurité énergétique comprise, et des risques particulièrement élevés pour les chercheurs (surtout dans la mise au point de techniques plus fondamentales et innovantes, comme le piégeage et le stockage des émissions de CO₂, et de techniques de géoingénierie visant à neutraliser les modifications climatiques), une aide supplémentaire à la recherche climatique se justifierait. Dans la pratique, la R-D énergétique demeure inférieure à son niveau record des années 70.

Tarification des émissions

Un autre problème complexe est celui de la tarification des émissions. En principe, la politique optimale pour réduire les émissions de GES est simple : les émissions doivent être facturées à chaque émetteur selon un prix unitaire égal aux dommages (en valeur actuelle nette) qu'il provoque (en sus du prix payé pour le charbon ou les autres ressources sous-jacentes). Autrement dit, pour minimiser le coût lié à la réduction des émissions, le même prix doit s'appliquer à l'ensemble des émissions, quels que soient le lieu où elles interviennent ou leur origine. L'utilisation de combustibles fossiles, par exemple, devrait être taxée à un prix (le «prix du carbone») tenant compte de leur teneur en carbone et, partant, du CO₂ qu'ils dégagent en brûlant.

Si le principe est simple, son application est délicate. Pour définir la valeur «correcte» du dommage marginal causé par les émissions (nous parlerons ici du prix du carbone, bien que les mêmes principes s'appliquent à tous les GES), de nombreuses questions doivent être tranchées, des plus spéculatives (comme le rythme et la nature probables des progrès techniques) aux philosophiques (dans le choix du taux d'actualisation).

L'essentiel n'est d'ailleurs pas seulement (ni même essentiellement) le prix actuel du carbone. Les décisions prises aujourd'hui quant aux investissements dans des activités risquées de R-D ou dans la mise au point de centrales électriques qui fonctionneront pendant des lustres se fondent sur une estimation des prix futurs des combustibles fossiles, dont ceux du carbone.

Le prix réel du carbone devrait augmenter, du moins dans un avenir prévisible : plus le moment où les dommages atteindront leur intensité maximale approche, plus le prix du carbone augmente en valeur actuelle, de même que la taxe. Une hausse trop rapide ne serait pas pertinente, car elle pourrait inciter les propriétaires de combustibles fossiles à intensifier l'extraction aujourd'hui, la taxe étant faible, ce qui aggraverait les problèmes à venir (Sinn, 2007). Si le taux d'augmentation approprié reste à définir, l'enjeu majeur pour les pouvoirs publics, qu'ils sont loin d'avoir résolu, consiste à trouver le moyen de crédibiliser la perspective d'une hausse raisonnable des prix du carbone.

Le graphique 1 illustre certaines ambiguïtés et incertitudes liées à la tarification correcte des émissions. Il s'appuie sur des simulations effectuées dans le cadre du Climate Change Science Program des États-Unis et fait appel à deux modèles d'évaluation intégrée appliqués dans ces travaux : le modèle IGSM (MIT) et le modèle MiniCAM (Pacific Northwest National Laboratories et université du Maryland).

Les estimations du prix futur des émissions varient amplement, pour une année donnée et par période, selon les modèles et les objectifs de concentration de GES à long terme. (En 2040, par exemple, la fourchette se situe entre 13 dollars par tonne de carbone pour un objectif de concentration atmosphérique de 650 parties par million (ppm) de CO₂ pour MiniCAM à 562 dollars par tonne pour un objectif de 450 ppm pour IGSM.)

Les écarts entre les modèles tiennent aux incertitudes concernant des facteurs tels que les coûts d'atténuation et la consommation d'énergie de référence; l'objectif «juste» en matière d'émissions est également aléatoire. Certaines formes d'incertitude ne peuvent être modélisées : tous ces calculs supposent, par exemple, le même taux d'actualisation (4 % par an). À titre de comparaison, la plupart des évaluations du prix «juste» actuel des émissions sont comprises entre 15 et 60 dollars par tonne (le prix proposé par la Stern Review, soit 330 dollars par tonne environ, constituant une valeur quelque peu extrême).

Taxes sur le carbone, quotas d'émission, etc.

L'application des prix du carbone crée d'autres problèmes. Il existe deux méthodes de référence fondées sur les mécanismes de marché : les dispositifs de taxation du carbone et les systèmes de plafonnement et d'échange (en vertu desquels des permis d'émission sont distribués — à titre onéreux ou gratuit — à hauteur d'un montant prédéterminé, puis achetés par ceux qui ont du mal à modérer leurs émissions à ceux qui y parviennent assez facilement). La plupart des dispositifs proposés sont en fait hybrides : ils prévoient, par exemple, la négociation de permis, mais les autorités seront disposées à accorder assez de permis pour maintenir le prix au-dessus d'un seuil donné. Ces deux polarités illustrent toutefois bon nombre des choix fondamentaux à effectuer.

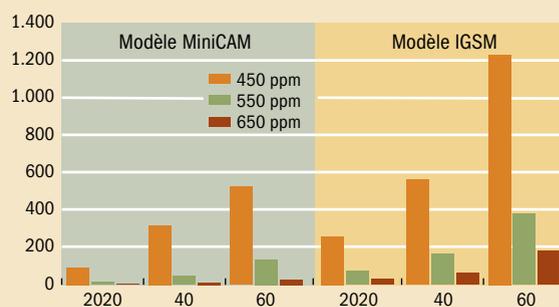
Dans le cas le plus simple, aucun choix n'intervient. Si tous les quotas d'émission entrant dans le cadre du mécanisme d'échange de droits d'émission sont attribués, par voie d'enchères, aux plus

Graphique 1

Des résultats divers

Le modèle IGSM suppose une croissance de base beaucoup plus rapide des émissions, d'où la hausse des taux d'imposition pour obtenir les niveaux d'émission visés.

(taux d'imposition du carbone dans le monde, en dollars par tonne)



Source : calculs des services du FMI d'après les résultats du modèle MiniCAM.

offrants, et que les émissions (et leur prix) sont définies avec certitude, les deux dispositifs sont équivalents : remplacer un mécanisme d'échange de quotas d'émission par une taxe sur le carbone d'un taux égal au prix d'équilibre des permis, des émissions et des recettes publiques reviendra exactement au même.

Mais en présence d'incertitudes, cette équivalence disparaît. Le système d'échange de quotas garantit la prévisibilité des émissions globales, les taxes sur le carbone celle, relative, des prix. Face aux incertitudes concernant les coûts associés à la réduction des émissions, les taxes peuvent constituer un dispositif plus avantageux dans la mesure où elles correspondent mieux aux coûts et bénéfices marginaux dérivant de l'atténuation.

Supposons, par exemple, que le coût de l'atténuation soit nettement supérieur aux prévisions. Dans le cadre d'un système d'échange de quotas, les émissions resteraient stables, mais l'atténuation requise serait très coûteuse. Un dispositif de taxe sur le carbone permettrait d'éviter ces coûts, mais les émissions seraient supérieures au niveau souhaité. Cette hausse des émissions serait relativement peu inquiétante du fait que les émissions produites sur une courte période n'ont guère d'effets sur les concentrations atmosphériques, qui sont l'élément le plus important.

L'équivalence ne fonctionnera pas non plus si (comme cela a souvent été le cas) les droits d'émission ne sont pas soumis à enchères, mais distribués gratuitement. Ainsi, dans la phase actuelle du système d'échange de quotas d'émission de l'Union européenne (l'ETS), établi pour exécuter les engagements pris par l'UE en vertu du Protocole de Kyoto, pas plus de 10 % des quotas ne peuvent être soumis à enchères. D'où un manque à gagner implicite de quelque 40 milliards d'euros par an et une redistribution substantielle et opaque.

Ce système «d'antériorité» des droits d'émission acquis peut avoir d'autres retombées négatives. Les entreprises pourraient penser que les allocations futures dépendront des émissions actuelles, ce qui les incitera moins à les réduire maintenant. Les règles d'entrée et de sortie sont aussi importantes. Si les entreprises sortantes perdent leurs droits (au lieu de pouvoir les vendre), elles risquent de ne pas cesser leur activité, ce qui nuira au processus d'atténuation. L'antériorité des droits acquis pouvait se justifier pour les investissements à fonds perdus effectués quand la tarification du

carbone n'était même pas imaginable, mais ce n'est plus le cas. De fait, la Commission européenne propose de la supprimer pendant la troisième phase de l'ETS (2013–20) — ce qui constitue un pas décisif dans la bonne direction, et un exemple pour les autres.

Que faire des recettes?

Le produit des taxes optimales sur les émissions pose un problème budgétaire majeur. Le graphique 2 présente les recettes escomptées des taxes sur les émissions de carbone en pourcentage du PIB mondial en 2020, 2040 et 2060, les projections des taux d'imposition et les émissions étant calculées au moyen des modèles d'évaluation intégrée utilisés dans le cadre de cet exercice. Les chiffres y vont de l'insignifiant (0,1 % des revenus en 2020 avec un objectif de 650 ppm selon le MiniCAM) au substantiel (plus de 3 % des revenus en 2060 avec un objectif de 450 ppm pour l'IGSM). Les distributions régionales n'y sont pas indiquées, mais la part des émissions totales des pays à faible revenu devrait augmenter progressivement (de manière plus prononcée selon le modèle MiniCAM), ce qui signifie que ces pays aussi percevront une part supérieure des recettes fiscales totales (plus de 65 % pour les pays hors OCDE en 2060 selon le modèle MiniCAM).

Si l'équivalence décrite plus haut se vérifie, un mécanisme d'échange de quotas faisant appel à des enchères intégrales des droits d'émission devrait produire des recettes totales équivalentes, mais leur répartition selon les pays pourrait être très différente.

Selon une hypothèse répandue, les recettes dégagées des taxes sur le carbone iraient au pays où le carbone est utilisé (encore que cela n'empêche pas des transferts internationaux subséquents). Dans le cadre d'un mécanisme d'échange de quotas, néanmoins, l'adoption d'une règle régissant l'allocation de l'ensemble des droits d'émission aux pays s'impose. Le mode d'allocation retenu — en proportion des émissions à politique inchangée, par exemple, ou de la population — peut avoir des retombées majeures sur l'évolution et l'ampleur des échanges internationaux de permis.

Les résultats varient selon les modes de calcul, mais tous semblent indiquer que l'Afrique et l'Inde seraient vendeuses de permis (des incitations les obligeant à participer au mécanisme), et que les pays industriels seraient acheteurs. Ces dispositifs, tout en freinant les émissions, constitueraient un mode efficace

de transfert des ressources des pays à revenu élevé aux pays à revenu inférieur. Il va de soi que l'exécution de ces transferts soulèverait des difficultés : il faudrait notamment convenir d'un système en vertu duquel chaque pays se verrait garantir que les émissions des autres ne dépassent pas le montant autorisé par les permis qu'il détient.

Grâce aux recettes susceptibles de dériver de la tarification du carbone, les États à court de liquidités pourraient trouver au moins un avantage au changement climatique. Elles leur permettraient de moins recourir aux impôts générateurs de distorsions et de faire face plus sereinement aux difficultés financières que la libéralisation des échanges et la mondialisation pourraient créer. (D'aucuns craignent qu'ils ne gaspillent ces revenus supplémentaires.)

La tarification du carbone risque toutefois d'aggraver les distorsions créées par les régimes fiscaux en vigueur et tendra, de manière générale, à réduire le niveau d'activité économique, exacerbant ainsi les contre-incitations marginales dérivant du régime fiscal. Il est donc généralement judicieux de séparer les recettes du carbone des instruments fiscaux plus générateurs de distorsions. Ces autres instruments varieront selon les pays. Plusieurs pays européens ont ainsi utilisé, pour soulager les problèmes du marché du travail, le produit croissant des taxes sur l'énergie pour diminuer les cotisations sociales. D'autres pourraient opter en priorité pour une diminution de l'impôt sur les sociétés.

Participation et équité

L'un des rôles potentiels de la politique budgétaire est d'encourager une large participation aux efforts d'atténuation — pour limiter les émissions au plus bas coût possible — et, en parallèle, de contribuer à répartir le fardeau du changement climatique selon un schéma jugé équitable. Celui-ci consistera, par exemple, à faire appel à d'autres instruments pour atténuer les effets de répartition de la tarification du carbone à l'intérieur des pays (ce qui peut s'avérer très difficile quand il s'agit d'augmenter les prix excessivement bas de l'énergie dans les pays à faible revenu) et à aborder des questions controversées comme le recours éventuel à des ajustements fiscaux à la frontière si les pays limitrophes n'appliquent pas des taxes similaires sur le carbone.

Il apparaît ainsi de plus en plus clairement que les différents éléments de la politique budgétaire seront au centre de toute intervention efficace face au changement climatique. ■

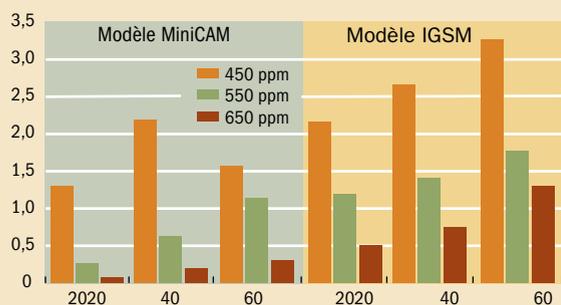
Michael Keen, Benjamin Jones et Jon Strand sont respectivement Conseiller, économiste, et Conseiller en matière d'assistance technique au Département des finances publiques du FMI.

Graphique 2

Un mécanisme rentable

Le modèle IGSM produit des recettes supérieures en raison surtout de la hausse des taux d'imposition sur les émissions.

(recettes mondiales escomptées des taxes sur le carbone, en % du PIB)



Source : calculs des services du FMI d'après les résultats du modèle MiniCAM.

L'écologisation des marchés

Les marchés financiers peuvent jouer un rôle utile dans la lutte face au changement climatique

Paul Mills

LE RÔLE des marchés financiers dans la lutte contre le changement climatique n'est pas évident. L'évolution du climat est lente et a une incidence mondiale sur l'environnement physique, tandis que les marchés financiers réagissent en quelques fractions de seconde à l'actualité et ne sont quasiment plus liés à des endroits précis. Étant donné la faible intensité énergétique du secteur financier, la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) n'aurait guère de retombées sur le fonctionnement matériel des institutions et des marchés financiers (contrairement à leur impact sur la production d'électricité ou les transports).

Néanmoins, les marchés financiers peuvent jouer deux rôles importants dans la lutte contre le changement climatique (tableau). D'abord, ils encouragent les stratégies d'atténuation (mesures de réduction des émissions de GES pour un degré d'activité économique donné) en améliorant l'efficacité des dispositifs de tarification et de réduction des émissions (comme les permis négociables d'émission de carbone) et l'allocation de capitaux à des techniques et des producteurs moins polluants. Ensuite, ils peuvent diminuer les coûts d'adaptation (moyens par lesquels les pays font face au changement climatique) en réaffectant le capital à des régions et secteurs nouvellement productifs et en couvrant les risques climatiques.

Ces dernières années, un vif essor de l'activité et de l'innovation a été observé sur les marchés de permis négociables d'émission de carbone, de produits dérivés climatiques et d'obligations-catastrophe, ce qui augure bien de l'avenir. Mais si elles ne reposent pas sur une bonne compréhension des systèmes financiers, les stratégies de lutte contre le changement climatique risquent de connaître des revers. Pour élaborer une stratégie et en minimiser le coût, il sera donc indispensable de savoir comment les marchés financiers réagiront aux mesures adoptées dans ce domaine et comment ils peuvent favoriser au mieux les politiques d'atténuation et d'adaptation.

Réduire les émissions de GES

Sur le front de l'atténuation, de nombreux pays se sont engagés, ou s'engageront probablement, à réduire les émissions de GES d'ici à 2012 en application du Protocole de Kyoto ou de l'accord subséquent. Pour réaliser cet objectif, ils peuvent appliquer, outre des restrictions réglementaires, des taxes sur les émissions ou des systèmes de plafonnement des émissions et de permis

négociables. Dans ce contexte, les marchés financiers peuvent intensifier les pressions commerciales sur les entreprises pour qu'elles réduisent les émissions.

Les *fonds d'investissement «verts»* font partie de ces mécanismes. Créés dans les années 80 dans le cadre du mouvement pour l'investissement «socialement responsable» ou «éthique», ces fonds devaient investir uniquement dans les entreprises soucieuses de limiter les dommages environnementaux qu'elles causaient. Depuis, des fonds plus spécialisés ont été lancés, qui

Identifier les instruments appropriés

Les instruments financiers peuvent contribuer à minimiser les coûts associés à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à l'adaptation au changement climatique.

Échange de quotas d'émission	Investissements associés au changement climatique	Marché des risques catastrophiques et climatiques
Stratégies d'atténuation		Stratégies d'adaptation
Instruments		
Permis d'émission négociables	Fonds d'investissement dans des secteurs susceptibles de tirer profit du changement climatique (eau et nucléaire, par exemple)	Instruments de transfert des risques catastrophiques (obligations-catastrophe et swaps, par exemple)
Contrats à terme et options sur les permis d'émission	Fonds d'investissement consacrés aux techniques «propres»	Assurances sur les risques climatiques et/ou les récoltes
Fonds investissant dans les permis d'émission	Projets dégageant des «crédits» carbone	Produits dérivés pour couvrir les risques climatiques
Effets visés		
Minimisation des coûts pour un niveau donné de réduction des émissions de gaz à effet de serre	Réallocation efficiente du capital en réaction au changement climatique	Partage des risques climatiques et des risques de catastrophes naturelles
	Apport de capitaux frais pour financer les mesures d'atténuation du changement climatique	Maintien de l'assurabilité des risques climatiques et réduction des primes
		Envoi de signaux de prix concernant les risques et coûts climatiques

Source : Deutsche Bank (adaptation).



investissent dans des entreprises, des projets et des technologies visant à réduire les émissions de GES. Certains indices créés récemment ne couvrent que les actions d'entreprises affichant de faibles émissions de GES ou investissant dans des techniques antipollution. Les sommes investies dans les fonds verts sont encore trop faibles pour influencer sensiblement sur le rendement global des titres, mais si l'accord post-Kyoto établit une forte taxe sur les émissions de GES ou leur attribue un prix élevé, les entreprises aux émissions actuellement faibles ou ayant investi dans les techniques antipollution devraient obtenir de meilleurs résultats que le marché. Les investisseurs semblent avoir anticipé ce phénomène. Lorsque l'indice du changement climatique de HSBC a été lancé, en octobre 2007, les 300 titres qui le composent affichaient depuis 2004 des résultats dépassant de 70 % ceux de l'indice mondial MSCI.

Plus généralement, lorsque les émissions de GES seront taxées ou rationnées au point que les entreprises ne pourront répercuter entièrement ces coûts, le coût du capital pèsera plus sur les gros émetteurs que sur leurs concurrents. Ces signaux de prix amèneront un redéploiement de la capacité sur les secteurs et régions où la production, l'investissement et la recherche sont les plus rentables, eu égard à l'augmentation des coûts liés à l'émission de GES.

Vient ensuite le *Mécanisme pour un développement propre (MDP)* du Protocole de Kyoto, selon lequel les réductions d'émissions moins coûteuses des marchés émergents et des pays à faible revenu peuvent être certifiées par les Nations Unies, puis vendues sous forme de crédits pour compenser les émissions dans le cadre des mécanismes de plafonnement et d'échange des pays à revenu élevé. Des fonds considérables ont été levés aux fins

d'investissement dans des projets en vue d'obtenir des certificats de réduction d'émissions au titre du MDP. En 2007, les crédits vendus au travers du système d'échange d'émissions (ETS) de l'Union européenne se sont élevés à 12 milliards d'euros, et les fonds consacrés aux projets de réduction d'émissions de carbone dépassent désormais les 10 milliards d'euros. Mais l'efficacité du MDP souffre de la lenteur d'approbation des projets et des doutes quant à leur qualité et leur capacité à freiner sensiblement la hausse des émissions de GES dans les pays émergents.

Le troisième mécanisme, parfait exemple du rôle clé d'un marché financier dans les stratégies d'atténuation du changement climatique, est l'*échange de droits d'émission de carbone*. Inspirée du marché américain des permis de dioxyde de soufre (SO₂), qui a réduit les émissions de SO₂ à peu de coûts, une disposition prévoyant l'échange de permis d'émission a été intégrée au Protocole de Kyoto et des mécanismes ont été mis en place dans l'Union européenne (UE), en Australie et aux États-Unis.

Intensité des échanges dans l'Union européenne

Le système ETS de l'UE est le plus important de ces marchés : les certificats négociés y ont représenté 9,4 milliards d'euros en 2005, 22,4 milliards en 2006 et 28 milliards en 2007. Le volume des transactions s'est accru considérablement depuis 2005 (graphique 1). Lancé à titre expérimental en 2005, l'ETS est passé à la phase II, qui vise à réaliser l'objectif de réduction des émissions de l'UE en vertu du Traité de Kyoto, de 2008 à 2012. L'UE propose depuis 2004 des contrats à terme sur les certificats d'émission, qui se négocient désormais au comptant et à terme sur cinq marchés et par l'intermédiaire de plusieurs courtiers

concentrés à Londres. Le volume hebdomadaire atteint plus de 20 millions de tonnes d'équivalent CO₂, dont 70 % environ sont négociés au travers de courtiers. La liquidité a nettement augmenté, puisqu'il est maintenant possible de procéder à des échanges instantanés dans une fourchette vendeur/acheteur serrée. À l'origine, les principaux intervenants sur ce marché étaient les entreprises énergétiques, mais les banques d'investissement et les fonds spéculatifs y sont aussi très actifs aujourd'hui.

Ces mécanismes de plafonnement et d'échange ont pour objet de minimiser le coût d'un niveau donné de dépollution en créant des droits d'émission de CO₂, en limitant, au plan administratif, l'offre de permis au niveau visé, en distribuant des permis (par voie d'enchères ou par allocation directe) et en autorisant leur négociation de sorte que les émetteurs à court de permis sont obligés d'en acheter à ceux qui en ont obtenu après dépollution. En théorie, cela devrait aboutir à ce que le coût marginal de la dépollution soit égal au prix d'un permis, les émissions étant réduites par les producteurs les plus performants — résultat équivalant à une taxe optimale sur les émissions de GES (voir l'article « Le prix du changement climatique » dans ce numéro).

L'ETS de l'Union européenne a-t-il été efficace? Un marché liquide du carbone a été établi, dont les prix reflètent l'évolution des fondamentaux du marché. Le prix substantiel des permis d'émission a créé quelques incitations à la dépollution. L'expérience a cependant livré des enseignements.

Primo, *la volatilité des prix a été plus forte que nécessaire*. Surtout, le prix des permis a chuté en avril 2006 suite à des rumeurs et à la publication sélective, dans certains pays membres, d'informations selon lesquelles les permis avaient fait l'objet d'une surallocation au cours de la phase I (graphique 1). La confirmation ultérieure que le mécanisme était dans l'ensemble en position longue nette a provoqué un effondrement des prix, qui ont frôlé zéro en phase I. Autoriser la mise en réserve des permis inutilisés de la phase I pour la phase II aurait diminué la

sensibilité des prix et le préjudice à la réputation du mécanisme. La publication plus fréquente et prudente de données susceptibles d'influencer le marché aurait en outre réduit une volatilité inutile et augmenté la confiance dans la fiabilité des prix.

Secundo, *l'ETS de l'Union européenne a, à ce stade, encouragé l'échange de quotas sans influencer notablement l'investissement à long terme*. Quelques entreprises énergétiques auraient transféré leur production marginale à des centrales à gaz, plus propres que le charbon, quand le prix des quotas de l'UE se situait dans le haut de la fourchette. Certains producteurs estiment également que l'établissement d'un prix substantiel pour le carbone encourage l'investissement dans les économies d'énergie. Néanmoins, les achats se sont concentrés sur les crédits extérieurs au dispositif de l'UE (de la Chine essentiellement), là où les coûts de dépollution sont sensiblement inférieurs. La phase II du mécanisme est en outre trop courte pour offrir des incitations crédibles à l'investissement dans les techniques énergétiques propres. En conséquence, la baisse de l'intensité carbonique dans l'UE a ralenti, malgré l'ETS, et les résultats récemment enregistrés sont inférieurs à ceux des États-Unis.

Tout cela a entraîné une comparaison entre les conditions nécessaires à des échanges fructueux d'émissions et celles qui gouvernent une politique monétaire crédible. Pour affermir la crédibilité à long terme d'un dispositif de quotas, il faudrait déléguer les pouvoirs à une institution indépendante, de type banque centrale, dont la mission, orientée par des considérations politiques, serait de diminuer les émissions au moindre coût. Elle serait chargée de la publication prudente et transparente d'informations, de l'application des droits de propriété à long terme, et aurait toute discrétion pour modifier les clauses de négociabilité et de protection de manière à maintenir le prix des permis dans la fourchette définie pour réaliser son objectif.

Adaptation au changement climatique

Sur le plan de l'adaptation, les marchés financiers disposent de plusieurs moyens pour favoriser la baisse des coûts liés au changement climatique. Ils doivent d'abord générer des signaux de prix pour réallouer le capital à des secteurs et régions nouvellement productifs. La réorientation de l'investissement sur les secteurs et pays qui affichent aujourd'hui des taux de rentabilité plus élevés (comme l'eau et les produits agricoles) ramènerait les coûts d'adaptation à un niveau inférieur à ceux qu'induirait la rigidité du capital.

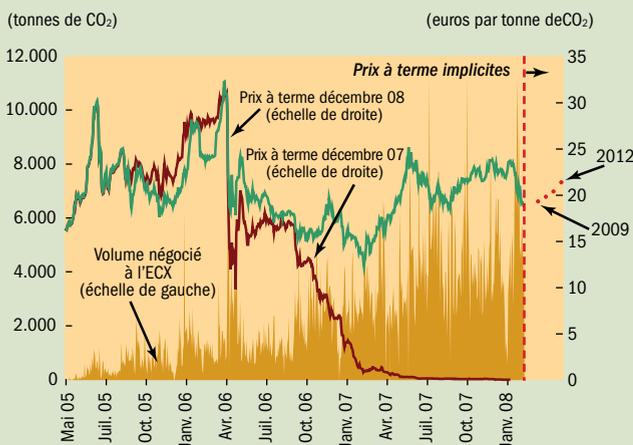
Le changement climatique va probablement modifier la répartition et l'intensité des précipitations, ce qui entraînera une hausse des investissements dans la conservation de l'eau dans les régions devenues arides, et dans les cultures moins consommatrices d'eau. À en juger par les résultats exceptionnels récemment enregistrés par les entreprises spécialisées dans la purification et la distribution de l'eau, le prix des actions commence à tenir compte de ces facteurs.

Mais c'est peut-être par leur capacité grandissante à négocier et garantir les risques météorologiques (qui, selon certains météorologues, vont augmenter sous l'effet du changement climatique) que les marchés

Graphique 1

Échanges actifs de quotas d'émission

Dans l'UE, les échanges de quotas de CO₂ sont en hausse malgré la volatilité des prix.



Source : Bourse européenne du carbone (ECX).
Note : Données du 5 février 2008.

financiers seront le plus en mesure de favoriser l'adaptation à l'évolution du climat.

Les **produits dérivés climatiques** offrent aux producteurs dont les revenus sont vulnérables aux fluctuations à court terme des températures ou des précipitations un moyen de couvrir ce risque. Les dérivés climatiques négociés sur les marchés organisés portent sur le nombre de jours enregistrant des températures supérieures ou inférieures à la moyenne saisonnière sur une période donnée. Si le nombre de jours froids dépasse la moyenne au cours de la période couverte par le contrat, les acheteurs de contrats à terme CDD recevront un remboursement proportionnel au nombre excédentaire de jours froids. Les contrats à terme bénéficient de faibles coûts de transaction et d'une liquidité souvent assez élevée. Mais, le paramètre utilisé pour calculer le remboursement auquel ils donnent droit n'est pas toujours exactement corrélé aux pertes réelles d'une entreprise en cas de conditions météorologiques extrêmes. La négociation de ces dérivés n'offre donc souvent qu'une couverture approximative des risques météorologiques des entreprises.

Après un lent démarrage à la fin des années 90, les marchés des produits dérivés et d'assurance climatiques ont connu une forte expansion ces dernières années (graphique 2), le volume des contrats climatiques ayant atteint plus de 19 milliards de dollars en 2006–07, contre 4–5 milliards en 2001–04. Les contrats négociés sont surtout des contrats à court terme sur les températures dans certaines villes américaines et européennes. La liquidité est désormais concentrée sur les contrats à court terme, une plus grande part de leur volume étant gérée par les fonds spéculatifs et les banques d'investissement.

Aux dérivés climatiques s'ajoutent des swaps climatiques et des contrats d'assurance qui couvrent les risques météorologiques et les récoltes. Des contrats d'assurance sont ainsi vendus pour parer au risque que la température ou les précipitations d'une région donnée dépassent d'un écart suffisant la moyenne saisonnière. Certains pays à faible revenu (comme l'Inde et la Mongolie) offrent une assurance sur les récoltes et le bétail pour protéger les agriculteurs vulnérables. L'Éthiopie a été le premier pays à instaurer une assurance-sécheresse en 2006.

Les autorités peuvent favoriser le développement de produits dérivés et d'assurance climatiques par la publication de données fiables et indépendantes sur les tendances météorologiques. Celles-ci permettent aux intervenants du marché de modéliser plus précisément les risques climatiques à un endroit donné, et d'abaisser ainsi les tarifs d'assurance. Une fiscalité neutre, la reconnaissance juridique et le traitement réglementaire de ces produits s'imposent également pour éviter l'apparition inopinée d'obstacles artificiels sur le marché.

Le changement climatique étant censé provoquer des phénomènes climatiques plus extrêmes, les **obligations-catastrophe** offrent aux marchés financiers un nouveau moyen de répartir les risques météorologiques catastrophiques (Hofman, 2007). Sous sa forme la plus simple, ce système suppose que le produit de l'émission des obligations est placé sur un compte de garantie bloqué et remis à l'émetteur si un paramètre mesurant une catastrophe naturelle extrême (cyclone ou tremblement de terre) dépasse un seuil de déclenchement donné. Les investisseurs perçoivent une prime de rendement, le principal leur étant remboursé si le seuil n'est pas dépassé à l'échéance de l'obligation.

Les résultats peuvent avoir des retombées notables sur la continuité (ou l'expansion) de l'offre d'assurances contre le risque climatique et la protection des secteurs vulnérables, comme l'agriculture et les propriétés côtières. Ils donnent aux assureurs les moyens d'accéder plus facilement aux marchés financiers mondiaux pour assumer les risques de catastrophe, ce qui permettra de maintenir l'offre d'assurances malgré l'évolution climatique.

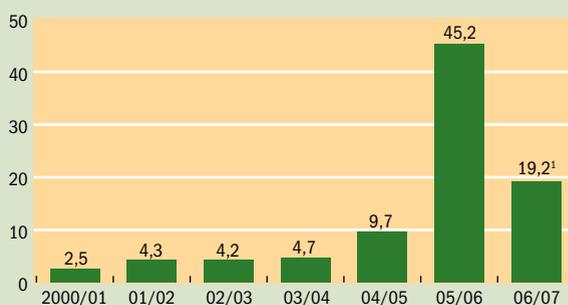
Les obligations-catastrophe ont été créées au début des années 90 suite aux énormes remboursements effectués après le cyclone Andrew, en 1992, pour permettre aux réassureurs de se désengager des risques extrêmes et d'économiser leurs fonds propres. Jusqu'à 2005, les émissions d'obligations-catastrophe étaient inférieures à 2 milliards de dollars par an. Mais après l'ouragan Katrina, qui a entamé les fonds propres du secteur, leur émission a connu une hausse spectaculaire, passant à 4,9 milliards de dollars en 2006 et à 7,7 milliards en 2007 (graphique 3). La demande émanant de fonds spéculatifs et

Graphique 2

Souffler le chaud et le froid

La demande d'assurance contre les températures et précipitations excessives s'est accrue considérablement.

(dérivés climatiques : valeur théorique négociée, milliards de dollars)



Source : PricewaterhouseCoopers.

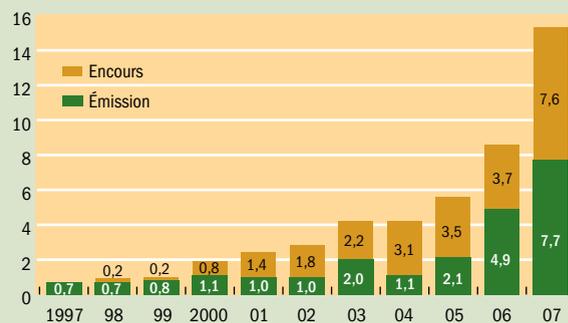
¹La baisse de la valeur théorique négociée en 2006/07 tient largement au passage des contrats saisonniers aux contrats mensuels pour le Chicago Mercantile Exchange.

Graphique 3

Survivre aux tempêtes

Ces dernières années, la demande d'obligations-catastrophe s'est accrue, les investisseurs recherchant des risques sans corrélation avec d'autres marchés financiers.

(émission et encours des obligations-catastrophe, milliards de dollars)



Source : Swiss Re Capital Markets.

d'investisseurs institutionnels en quête de rendements supérieurs non corrélés à d'autres marchés obligataires a été forte.

Bien que les obligations-catastrophe et les autres moyens innovants de lever des capitaux ne constituent que 10 à 15 % de la capacité globale de réassurance des risques climatiques extrêmes, la création d'une catégorie d'actifs de niveau mondial devrait garantir que, si des catastrophes climatiques affaiblissent par la suite les fonds propres du secteur de la réassurance, les marchés financiers mondiaux les reconstitueront plus rapidement. Une stabilisation des primes d'assurance contre les risques climatiques est déjà observable après des phénomènes extrêmes, et l'assurabilité future doit être garantie à un coût raisonnable, même si le changement climatique accroît l'intensité des risques.

Comment les autorités peuvent-elles préserver l'assurabilité des risques météorologiques malgré l'évolution du climat? Elles peuvent d'abord limiter la mise en valeur des zones vulnérables aux inondations ou aux tempêtes. Elles peuvent ensuite investir dans des mesures de protection contre les inondations ou de conservation de l'eau pour aider les assureurs privés à maintenir l'offre de couverture des risques d'inondation ou de sécheresse à un coût raisonnable. Elles doivent s'abstenir de subventionner ou de plafonner les primes d'assurance contre les inondations ou les cyclones, ce qui peut encourager les comportements à risque et empêcher le marché privé de l'assurance de générer des signaux de prix pour faciliter l'adaptation au changement climatique. La hausse des primes, ou le retrait des couvertures, inciterait à limiter les comportements à risque et l'exposition aux phénomènes météorologiques extrêmes. Autoriser la mise en valeur de zones vulnérables peut faire des catastrophes météorologiques un risque financier inutilement important — même pour les pays à revenu élevé.

Les autorités pourraient envisager de couvrir les risques financiers liés aux catastrophes par l'émission directe d'obligations-catastrophe (comme l'a fait le Mexique en 2006 pour offrir une assurance-tremblement de terre) ou en participant à des mécanismes collectifs qui regroupent les risques climatiques, celui des cyclones par exemple (comme l'ont fait 16 pays caribéens en 2007, de concert avec la Banque mondiale, dans le cadre du Mécanisme d'assurance contre les risques liés aux catastrophes — d'un montant de 120 millions de dollars).

La demande de diversification sur de nouveaux risques est aujourd'hui exceptionnellement forte sur le marché des obligations-catastrophe; les assurances proposées contre les nouveaux risques devraient donc être assez intéressantes. Les agences de notation pourraient envisager de relever la cote de solvabilité des emprunteurs souverains à faible revenu vulnérables aux catastrophes climatiques s'ils contractent une assurance pour limiter leurs risques financiers extrêmes. Comme dans le cas des dérivés climatiques, la fourniture de données météorologiques indépendantes et à plus long terme permet aux modélisateurs des assureurs de projeter plus sûrement les régimes climatiques, et de diminuer ainsi les coûts.

Avantages des innovations

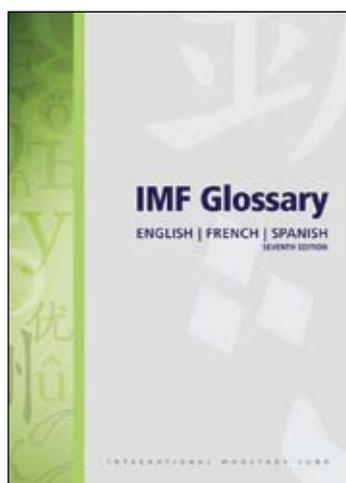
Les marchés financiers joueront un rôle essentiel dans l'atténuation et l'adaptation à l'évolution climatique. Les marchés des valeurs mobilières récompenseront les entreprises qui mettront au point ou adopteront des techniques écologiques. Le système de quotas d'émission semble devenir la politique d'atténuation privilégiée des pays à revenu élevé, auquel cas le marché mondial des permis d'émission devrait s'imposer au premier rang mondial des marchés des produits de base.

Même si les dérivés climatiques et les obligations-catastrophe ne constituent pas une panacée (à ce stade, seules les couvertures contre les risques météorologiques et les catastrophes sont proposées sur cinq ans), l'innovation et la diversification rapides qu'ont connu récemment ces marchés font espérer qu'ils continueront d'innover et de faciliter l'adaptation au changement climatique. Compte tenu de l'expansion des fonds spéculatifs et de l'appétit pour des risques non corrélés à d'autres marchés financiers, il est probable que la demande d'instruments financiers offrant aux investisseurs une prime pour assumer des risques météorologiques en dépit de l'évolution climatique restera soutenue. Les éléments nécessaires à l'innovation existent; il appartient donc aux autorités de réfléchir aux moyens d'encourager ces innovations et d'en tirer profit. ■

Paul Mills est économiste principal au Département des marchés monétaires et de capitaux du FMI.

Bibliographie :

Hofman, David, 2007, «Comment maîtriser le coût des catastrophes», *Finances et Développement*, vol. 44 (mars), p. 42-45.



Glossaire du FMI : Anglais–Espagnol–Français, *Services linguistiques du Fonds monétaire international*

La septième édition du Glossaire du FMI : anglais–espagnol–français contient plus de 4.000 entrées très utiles pour les traducteurs de documents du FMI. Le corps de ce glossaire comprend des termes qui s'utilisent fréquemment dans les domaines de la macroéconomie, de la monnaie et de la banque, des finances publiques, de la fiscalité, de la balance des paiements, des statistiques, de la comptabilité et du développement économique. Les appendices contiennent une liste des unités monétaires des pays, un organigramme du FMI et des index en français et en espagnol.

49 dollars EU 2007. 507 pages (broché)
ISBN 978-1-58906-645-8. **Code de référence : GLOEA2007001**

Pour obtenir davantage d'informations ou pour commander, voir www.publications@imf.org.

Hausse des températures, hausse des risques



Un lac asséché dans la Province de Hubei (Chine).

Mohan Munasinghe

ON constate déjà les dégâts du réchauffement mondial. Au Darfour, où plusieurs centaines de milliers de personnes ont péri ces dernières années des suites du conflit interne, le changement climatique a aggravé la pénurie d'eau et de terres (en raison d'une désertification croissante), réduit l'activité agricole et créé un conflit entre déshérités pour ces ressources rares. À l'autre bout du monde, de nombreuses îles du Pacifique (et les Maldives), qui ne dépassent souvent que de quelques centimètres le niveau de la mer, sont menacées d'être submergées par la montée des eaux. Dans le grand nord, la fonte de la calotte glaciaire nuit à la faune polaire et aux moyens d'existence, déjà précaires, des populations indigènes.

Ces inquiétants signes avant-coureurs du changement climatique soulignent la nécessité de mieux comprendre le phénomène et d'agir sur ses conséquences. Selon le dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental de l'ONU sur le changement climatique (GIEC), le réchauffement mondial est réel et presque certainement imputable aux activités humaines récentes, qui ont augmenté les émissions de gaz à effet de serre (GES). Il indique aussi que le changement climatique (caractérisé par l'augmentation des températures, la montée du niveau de la mer et un changement du régime des pluies) continuera et s'accroîtra

dans l'avenir prévisible (encadré 1), avec des conséquences peut-être désastreuses pour la planète et ses habitants.

Les plus vulnérables seront les pauvres, les personnes âgées et les enfants (y compris ceux des pays riches). Les régions les plus touchées seront l'Arctique, l'Afrique subsaharienne, les petites îles et les grands deltas de l'Asie. Des risques élevés pèseront sur les zones côtières basses, les ressources en eau des régions tropicales sèches et subtropicales, les zones agricoles du sud, les écosystèmes essentiels (comme le récif de corail) et la santé dans les contrées pauvres. En outre, les phénomènes climatiques extrêmes s'aggraveront, notamment les cyclones tropicaux et les canicules. Dans ces conditions, la perspective de réaliser plusieurs des huit objectifs du Millénaire pour le développement — recul de la pauvreté, progrès de la santé et de l'éducation, égalité des sexes et sauvegarde de l'environnement — s'éloigne encore davantage.

Comment briser ce cycle destructeur? L'espoir réside dans des stratégies centrées à la fois sur le changement climatique et le développement durable. En effet, ces deux problèmes sont très liés : le changement climatique compromet les perspectives de développement et les modes de développement déterminent le climat futur. Au niveau mondial, les pays doivent agir de façon concertée pour remodeler les activités humaines à une échelle sans précédent; malheureusement, les

Rendre le développement plus durable contribuera à remédier au changement climatique

tendances actuelles ne sont pas du tout encourageantes (encadré 2). Au niveau national, l'avenir pourrait être plus prometteur, car des moyens pratiques existent maintenant pour intégrer les réponses au changement climatique dans des stratégies de développement durable. L'existence de ces instruments devrait rassurer les nombreux responsables qui craignent que la lutte contre le changement climatique détourne des ressources dont on a grand besoin pour résoudre les problèmes de développement plus immédiats, comme la croissance, la pauvreté, la sécurité alimentaire, les maladies, le chômage et l'inflation.

Ce que peut faire l'humanité

L'humanité a deux moyens de réagir au changement climatique : s'y adapter et l'atténuer. Le premier tente de réduire la vulnérabilité de l'homme et de la nature aux effets nocifs de cette évolution, alors que le second vise à diminuer ou même à supprimer les émissions de GES.

L'adaptation. Les mesures en ce sens doivent être renforcées, parce qu'à long terme un changement climatique sans frein dépasserait probablement la capacité d'adaptation de la nature, de l'agriculture et de l'organisation humaine. Les organismes naturels et les écosystèmes ont une autonomie d'adaptation (exemples : la migration des animaux quand leur habitat se modifie et les changements du cycle de croissance des plantes), mais beaucoup risquent de ne pas survivre si la température s'élève trop vite. L'homme est capable d'une adaptation planifiée (ou par anticipation), même si la réactivité est souvent nécessaire. L'existence de méthodes d'adaptation est avérée — la construction de digues contre la montée du niveau de la mer, la création de plantes résistant à la chaleur ou à la sécheresse et l'extension de la couverture des assurances risques —, mais il faut les répandre davantage et

les faire appliquer par les États, les entreprises et la société civile. Prenons le cas des régions côtières menacées par les inondations et les tempêtes, à cause de la hausse des températures. Sans changement des dépenses de protection, 55 à 90 millions de personnes environ seront touchées chaque année par un réchauffement de 2° C. Mais ce chiffre pourrait être ramené entre 2 et 10 millions si l'on augmentait modestement l'effort annuel dans ce domaine, en l'alignant sur les taux de croissance des PIB.

L'atténuation. On doit aussi développer les efforts actuels d'atténuation — surtout en réduisant les émissions liées à l'usage de l'énergie et en plantant des forêts pour augmenter l'absorption de dioxyde de carbone. Il en résulterait une moins grande concentration de GES et d'autres avantages, comme une amélioration de la santé et une diminution de la demande d'énergie, laquelle sécuriserait cette ressource et en assurerait plus aux régions pauvres et rurales. Nous connaissons actuellement les options technologiques et politiques qui pourraient stabiliser les concentrations de GES dans une fourchette de 450 à 550 parties par million en volume (ppmv) pendant les cent prochaines années. L'estimation médiane du coût des mesures d'atténuation permettant d'atteindre 550 ppmv est de quelque 1,3 % du PIB mondial en 2050 (équivalant à une réduction de moins de 0,1 % par an jusqu'à cette date); en revanche, le coût d'une stabilisation au niveau de 450 ppmv pourrait dépasser 3 % du PIB de 2050.

Comment procéderait-on? Un rôle essentiel serait joué par les instruments de lutte contre le réchauffement mondial prévus par le traité de Kyoto — mécanisme de développement propre, application conjointe et échange des émissions — qui permettent aux pays industriels de transférer, contre paiement, à d'autres nations une partie de leurs obligations de réduction des émissions. Prenons le cas d'un projet du mécanisme de dé-

Encadré 1

Les données scientifiques

Pendant des décennies, le débat public sur le réchauffement climatique s'est résumé à un peu de science et beaucoup de conjectures. Mais, depuis peu, les scientifiques se font entendre et beaucoup des plus grands ont exprimé un point de vue convergent, en 2007, dans le Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) — créé il y a vingt ans par l'ONU pour donner une opinion autorisée sur le changement climatique. Leur message est sombre.

Ce que nous savons. Pendant plus de 10.000 ans, la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère est restée stable, à quelque 280 parties par million par volume (ppmv), mais, après la révolution industrielle, elle a augmenté rapidement et dépasse désormais 380 ppmv. À cause de cela — et d'autres GES mineurs, comme le méthane et l'oxyde nitreux — la surface de la planète s'est réchauffée de 0,75° C en moyenne et le rythme s'accélère. Il y a d'autres preuves d'un changement climatique mondial : une montée régulière du niveau de la mer (16 cm environ depuis cent ans), la fonte des glaces aux pôles et celle des glaciers, les dégâts récents causés par des phénomènes climatiques extrêmes, la baisse des précipitations dans les zones sèches et leur hausse dans les zones humides, des changements significatifs des cycles écologiques et du comportement des animaux.

Le GIEC prévoit qu'en l'absence d'un effort sérieux de réduction des émissions, la concentration de dioxyde de carbone sera, d'ici à 2100, à peu près le double du niveau préindustriel (plus de 500 ppmv), la température mondiale moyenne dépassera de quelque 3° C le niveau actuel (la fourchette étant de 1,1–6,4° C) et le niveau moyen de la mer s'élèvera de 35 à 40 cm. Les phénomènes climatiques extrêmes et le régime des précipitations s'aggraveront, tandis que la fonte des glaces s'accélénera à cause d'un réchauffement accru des régions polaires. Même si l'on réduisait fortement les émissions, le GIEC estime que les températures s'élèveraient d'au moins 1,5° C d'ici à 2100.

Ce que nous ne savons pas. Le GIEC continue à combler d'importantes lacunes de connaissances. Ainsi, le niveau auquel la concentration de GES devient dangereuse n'est pas scientifiquement établi; l'Union européenne exprime un jugement de valeur selon lequel 2° C (correspondant à 450–500 ppmv) est le seuil de risque tolérable. La sensibilité du climat à la concentration de GES est un facteur clé qui reste à déterminer plus exactement. Il faut aussi préciser le coût économique des effets, car beaucoup d'entre eux se produiront dans un avenir lointain. En raison des délais, portant souvent sur des décennies ou même des siècles, il est difficile de prévoir des résultats catastrophiques comme la fonte des glaces polaires ou les changements de la circulation océanique.

veloppement propre, appliqué dans un pays en développement où le coût marginal de plantation d'une forêt pour absorber du carbone se limiterait à 10 dollars EU par tonne de carbone. Le carbone absorbé serait crédité à un pays industriel et s'imputerait sur ses obligations au titre du Protocole de Kyoto — qui auraient impliqué sans cela la remise en état d'une centrale électrique, à un coût de 50 dollars EU par tonne de carbone. Cette méthode est efficace, parce que l'atténuation s'effectue au moindre coût. De plus, le transfert financier d'un pays riche à un pays pauvre est conforme à l'équité, pourvu que le second perçoive plus que le versement minimal de 10 dollars EU la tonne (pour couvrir les coûts) — c'est-à-dire touche une partie des 40 dollars EU économisés. Récemment, la fourchette des versements allait de 5 à 10 dollars EU la tonne dans les pays en développement jusqu'à 50 dollars EU en Europe.

Ces mesures d'atténuation et d'adaptation posent évidemment de délicates questions d'équité et de partage des charges, qui dominent souvent le débat mondial. Jusqu'à présent, les gaz à effet de serre — résultant essentiellement du brûlage des énergies fossiles et de la déforestation — ont surtout été émis

par les pays riches (en 2004, l'émission de GES par habitant dans les pays industriels était quatre fois supérieure à celle des pays en développement).

Mais, avec le temps, les pays en développement vont devoir augmenter fortement leur consommation d'énergie (souvent en recourant surtout au charbon) pour diminuer la pauvreté et croître. À un horizon prévisible, leurs émissions par habitant resteront bien inférieures à celles des pays industriels, mais les émissions totales des pays les plus peuplés deviendront de plus en plus substantielles. L'Agence internationale de l'énergie estime qu'en 2015 la Chine remplacera les États-Unis comme principal émetteur mondial de dioxyde de carbone, l'Inde passant de la cinquième à la troisième place. Le fait que les pays pauvres seront les plus durement touchés par le changement climatique complique encore la situation. Pour le moment, les pays en développement devraient privilégier l'adaptation, en particulier pour protéger leurs pauvres, alors que les pays riches (mieux dotés financièrement et techniquement) devraient diriger l'effort d'atténuation, tout en aidant les pays défavorisés à avancer sur ces deux plans. Pour leur part, les pays à revenu moyen doivent se joindre à l'effort d'atténuation au fur et à mesure qu'ils s'enrichissent.

Encadré 2

Aperçu de l'action mondiale

La convention cadre des Nations-Unies sur le changement climatique (CCNUCC) de 1992, acceptée par 190 pays, guide les actions internationales. Elle recherche «la stabilisation de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêcherait une dangereuse interférence anthropique avec le système climatique»... «fondée sur l'équité et conformément aux responsabilités communes, mais différenciées, et aux capacités respectives [des nations]». Elle note que «les pays développés devraient prendre la tête de la lutte contre le changement climatique» et reconnaît «les besoins spécifiques et la situation particulière des pays en développement». La CCNUCC accepte le «droit de promouvoir le développement durable» et invoque le principe de précaution, selon lequel «en présence de menaces de dommages sérieux ou irréversibles, l'absence de certitude scientifique complète ne doit pas servir» à différer des mesures destinées à prévenir le changement climatique.

Pour appliquer la CCNUCC, les pays signataires ont adopté, à la fin de 1997, le Protocole de Kyoto, entré en vigueur en février 2005. Il prévoit que, d'ici à 2012, les pays (industriels) de l'annexe I réduisent collectivement leurs émissions de 5 % par rapport aux niveaux de 1990, les pays (en développement) hors annexe I étant exemptés de cette obligation. Actuellement, 174 pays ont ratifié l'accord, mais les États-Unis (principal émetteur de GES) n'y ont pas adhéré.

Pourtant, les émissions globales de GES ont augmenté de plus de 70 % de 1970 à 2004, dont de fortes progressions depuis Kyoto. La feuille de route adoptée à la réunion CCNUCC de Bali, en décembre 2007, a établi un programme et un calendrier pour formuler un accord d'atténuation prenant la suite de Kyoto — on aiderait aussi les pays pauvres à s'adapter au changement climatique (grâce à une amélioration de l'assistance financière et technique) — mais les participants n'ont pu se mettre d'accord sur des objectifs spécifiques d'atténuation, en raison surtout des objections américaines.

Un plan d'action

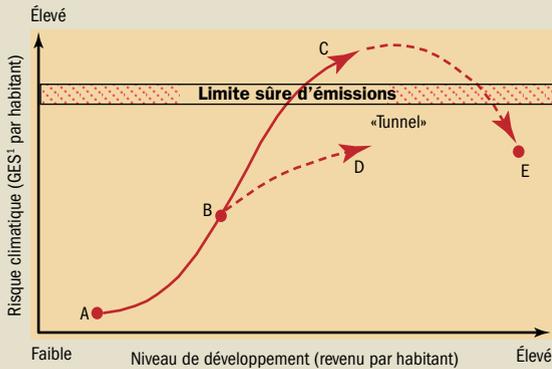
Comment faire pour que les décideurs, toujours absorbés par les problèmes du moment, s'intéressent au réchauffement mondial? En les convainquant d'intégrer le changement climatique à la stratégie de développement durable de chaque pays. Heureusement, au cours des quinze dernières années, on a conçu et utilisé de nombreux moyens pratiques de le faire. Un dispositif prometteur, appelé «écovabilité» (*sustainomics*), propose les premières mesures concrètes pour passer du scénario risqué de l'immobilisme à un avenir plus sûr et viable. Il repose sur trois principes de base :

- L'objectif principal doit être de rendre le développement plus durable. Cette démarche progressive est concrète et permet de s'occuper immédiatement des priorités urgentes, car il est facile de distinguer de nombreuses activités non viables et d'agir (par exemple en conservant l'énergie). On définit ici le développement durable comme un processus (et non comme un point d'aboutissement).
- Il faut équilibrer les trois éléments (ou vertices) du triangle de développement durable, c'est-à-dire peser l'aspect *social* (insertion, promotion et gouvernance), *économique* (croissance, efficacité et stabilité) et *environnemental* (biodiversité, ressources naturelles et pollution).
- La réflexion doit transcender les frontières traditionnelles (disciplines académiques, espace, temps et parties prenantes). Une analyse transdisciplinaire est indispensable, car les problèmes et les solutions débordent les clivages conventionnels. Le changement climatique touche toute la planète, s'étale sur des siècles et concerne chaque être humain.

Ces principes pourraient aider les décideurs qui tentent de forger un consensus à long terme pour concilier les coûts d'atténuation et les aspirations au développement. Comme le montre le graphique, le degré de risque pour le développement d'un pays (que représentent les émissions de GES par habitant) varie selon son niveau de développement (que mesure le PNB

Tunnel d'échappement

Les pays en développement doivent éviter la croissance à forte intensité de carbone des pays industrialisés.



Source : Munasinghe (2007).
¹ Gas à effet de serre.

par habitant). Un pays en développement typique pourrait se trouver sur la courbe AB, alors qu'une nation industrielle pourrait être à C. Idéalement, les pays industriels (qui dépassent la limite d'un changement climatique «dangereux») devraient pratiquer l'atténuation et suivre le cheminement de croissance future CE, en restructurant leur mode de développement pour dissocier les émissions de carbone de la croissance économique. Les pays en développement pourraient adopter des politiques novatrices pour rester sous la limite de sécurité (le long de BDE), en s'inspirant des expériences du monde industriel. Ils pourraient ainsi continuer à se développer (et à croître) de façon plus viable, suivre un cheminement d'expansion à moindre intensité de carbone et réduire la vulnérabilité au climat.

Le dispositif offre aussi aux décideurs une panoplie d'outils pratiques — tant des nouveautés que des méthodes classiques recyclées. Au stade national, il s'agit de la modélisation macro et sectorielle, de la comptabilité nationale ajustée en fonction de l'environnement, de l'analyse de la pauvreté et de la matrice d'incidence des actions. Pour les projets, les outils disponibles sont l'analyse coûts-avantages et multicritères ainsi que l'évaluation de l'effet social et environnemental.

Dans les deux cas, les instruments de politique sont la tarification, les impôts et charges, les règles et normes, les contrôles de qualité, les permis négociables, les incitations financières, les accords volontaires, la diffusion de l'information et la recherche-développement. Ils permettent de trouver et d'appliquer les politiques du climat les plus désirables, qui tracent des cheminements viables à la fois sur le plan économique, social et de l'environnement, tout en contribuant à arbitrer entre des objectifs opposés.

Garantir la sécurité alimentaire

Parmi les divers outils de l'écoviabilité, la matrice d'incidence des actions (Action Impact Matrix — AIM)

excelle à montrer comment intégrer le changement climatique et le développement durable, ce qui la rend très utile pour prendre des décisions nationales, sectorielles et sur des projets. Elle révèle, et hiérarchise, l'effet des politiques et objectifs de développement national sur les principales options d'adaptation et d'atténuation, et *vice versa*. Elle analyse les grandes interactions économie-environnement-social, pour discerner les obstacles éventuels aux actions cherchant à rendre le développement plus durable. Elle contribue aussi à déterminer les politiques et stratégies mondiales qui faciliteraient l'adaptation et l'atténuation, afin de surmonter les effets du changement climatique.

Prenons le cas de l'AIM 2006 pour le Sri Lanka, décrite au tableau 1. Les cellules de valeur -3 et -2 indiquent les effets les plus nocifs et devraient être prioritaires. En revanche, on peut ignorer les cellules de valeur 0 ou -1, parce que les effets sont faibles. Observons la ligne intitulée «(S1) statut», où la cellule (S1, 6) a une valeur de -3, indiquant que le changement climatique aura une incidence très préjudiciable sur les futures ressources en eau. En descendant la colonne 6, on remarque que la cellule (C6) a aussi une valeur de -3, qui signifie que cette pénurie d'eau affectera sérieusement la sécurité alimentaire. De même, en descendant la colonne 1, on voit que le changement climatique aura également de graves conséquences sur l'agriculture, et donc la sécurité alimentaire, comme le montre le -3 de la cellule (C1). À chaque cellule correspond une description distincte détaillée — ainsi, pour

Tableau 1

Cerner les liens entre le climat et le développement à Sri Lanka

Une matrice d'impact des actions souligne l'incidence de la vulnérabilité au changement climatique sur les objectifs et politiques de développement, les mesures bénéfiques pour tous et les arbitrages à réaliser.

		Principaux facteurs de vulnérabilité : secteurs économiques et écosystèmes									
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
		Production agricole	Hydroélectricité	Déforestation	Biodiversité (flore et faune)	Marécages et écosystèmes côtiers	Ressources en eau	Collectivités pauvres	Santé humaine	Infrastructure	Industrie et tourisme
(S0)	Statut (variabilité naturelle)	-1	0	-2	-1	-1	-2	-1	0	2	2
(S1)	Statut (+effets du changement climatique)	-2	-1	-2	-2	-2	-3	-2	-1	-1	-1
Principaux objectifs/politiques de développement											
(A)	Croissance	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-1	-1	-1
(B)	Réduc. de la pauvreté	-2	0	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-1	-1
(C)	Sécurité alimentaire	-3	0	-1	-1	-1	-3	-1	-1	0	0
(D)	Emploi	-1	0	-1	0	-1	-2	-1	-2	-1	-2
(E)	Commerce et mondialisation	-2	-1	0	0	0	-1	-1	0	-2	-1
(F)	Réduction du déficit budgétaire	-1	-1	0	0	0	0	0	-2	0	-1
(G)	Privatisations	0	1	1	0	0	1	0	0	-1	-1

Source : Munasinghe (2007).

la cellule (C1), c'est la description de toutes les grandes cultures des diverses parties de Sri Lanka, dans différentes conditions de température et de pluie.

Du fait de la forte priorité AIM donnée à la sécurité alimentaire, à l'agriculture et à l'eau, on a rapidement entrepris une étude plus précise de cette question. Un modèle ricardien de l'agriculture a été appliqué pour comprendre comment les modifications climatiques naturelles (température et précipitations surtout) avaient déterminé les variations passées de productions importantes comme le riz, le thé, le caoutchouc et la noix de coco. On s'est ensuite servi d'un modèle réduit du climat régional pour faire des prévisions détaillées de température et de pluie propres à Sri Lanka. Les résultats conjugués des deux modèles ont montré une incidence sensiblement négative sur la culture future du riz (rendement inférieur de près de 12 % en 2050), qui toucherait les exploitants pauvres de la zone sèche, où les revenus sont les plus bas. Parallèlement, certaines parties de la zone humide, productrices de thé et plus prospères, progresseraient (rendement supérieur de 3,5 % en 2050).

Ces conclusions posent plusieurs importants problèmes de politique. D'abord, le riz étant un aliment de base et une culture qui fait vivre une grande part de la population, des mesures d'adaptation sont indispensables pour protéger la sécurité alimentaire nationale et les moyens d'existence ainsi que pour rendre moins vulnérables les ruraux pauvres de la zone sèche. Ensuite, on devra corriger les effets sur la répartition des revenus et l'équité des retombées différenciées du changement climatique sur les agriculteurs pauvres et les propriétaires fonciers aisés. Enfin, les responsables devront tenir compte du risque d'un déplacement des populations des zones sèches vers les zones humides.

Encourager les énergies renouvelables

On a généré une autre matrice AIM pour étudier les liens entre l'atténuation et les objectifs de développement à Sri Lanka. L'hydroélectricité à petite échelle se révélant une solution prometteuse d'énergie renouvelable, on s'est interrogé sur le choix des sites appropriés. Une analyse multicritères a été effectuée pour évaluer des indicateurs sociaux, économiques et environnementaux. Cela permettait aux décideurs d'appréhender tous

ces domaines de façon équilibrée — notamment en quantifiant et en indiquant les arbitrages à opérer entre des objectifs opposés, difficiles à comparer directement. Cette méthode d'analyse a ainsi donné des informations utiles pour compléter les données économiques d'une analyse coûts-avantages.

Comme dans toutes les études du développement durable, le choix des indicateurs est crucial. En l'occurrence, l'indicateur économique était le coût, l'indicateur social le nombre de personnes déplacées et l'indicateur d'environnement un indice de perte de la diversité. Tous les indicateurs étaient mesurés par tonne de carbone en moins à chaque site (l'utilisation d'énergies fossiles étant remplacée par l'énergie hydroélectrique produite).

Quels sont les projets hydroélectriques arrivés en tête? Ceux qui ont le mieux concilié l'intégration des mesures d'atténuation aux objectifs de développement durable du pays. Le tableau 2 indique les 10 premiers (sur 22 examinés), ainsi classés parce qu'ils satisfont très bien à un simple critère composite de viabilité donnant un poids égal aux indicateurs économiques, sociaux et d'environnement. Les deux premiers, les projets E et V, sont aussi en tête pour l'indicateur économique, mais le troisième, le projet R, réussit à dépasser le projet H, qui obtient pourtant un score supérieur sur le seul plan économique.

Une visibilité accrue

Ces derniers mois, la conjonction de trois événements a mis au premier plan le changement climatique et les difficultés qu'éprouvent les décideurs à relever cet important défi : la publication du quatrième rapport d'évaluation du GIEC; l'attribution du prix Nobel de la paix 2007 au GIEC et à Al Gore; la convention cadre de l'ONU sur le changement climatique. Même si le monde s'accorde de plus en plus sur la nécessité d'agir rapidement contre ce phénomène, il reste à résoudre d'importantes questions pratiques comme le partage des tâches et l'équité.

On peut néanmoins conclure avec optimisme. Bien que le changement climatique et la viabilité du développement soient des problèmes complexes et liés, qui représentent un défi pour l'humanité, on peut les résoudre ensemble en intégrant l'adaptation et l'atténuation dans le cadre plus large des stratégies de développement durable. On en sait déjà assez pour prendre immédiatement la première mesure en faveur de la pérennité du développement, qui contribuera à un avenir plus sûr et meilleur. ■

Mohan Munasinghe est Vice-Président du Groupe d'experts intergouvernemental sur le changement climatique, à Genève, et Président de l'Institut Munasinghe pour le développement (MIND), à Sri Lanka.

Tableau 2

Hiérarchiser les projets hydroélectriques à Sri Lanka

Une analyse multicritères permet de choisir les meilleurs projets propices au développement durable.

Indicateur	Rang du projet									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Viabilité ¹	E	V	R	I	P	J	U	L	H	S
Sociale ²	L	O	P	Q	R	V	M	I	C	E
Environnementale ³	G	R	I	O	Q	L	E	V	S	T
Économique ⁴	E	V	H	R	I	P	J	U	L	S

Source : Munasinghe (2007).

Note : Les lettres indiquent les divers projets, classés selon leur impact social, environnemental et économique.

¹L'indice de viabilité est un composite qui donne un poids égal aux indicateurs social, environnemental et économique.

²Mesurée par le nombre de personnes déplacées.

³Mesurée par un indice synthétique de perte de biodiversité.

⁴Mesurée par le coût.

Bibliographie :

- Munasinghe, Mohan, 2007, *Making Development More Sustainable: Sustainability Framework and Practical Applications (Colombo, Sri Lanka: MIND Press, Munasinghe Institute for Development); www.mindlanka.org*
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007, Synthesis Report—Fourth Assessment (Geneva); www.ipcc.ch*