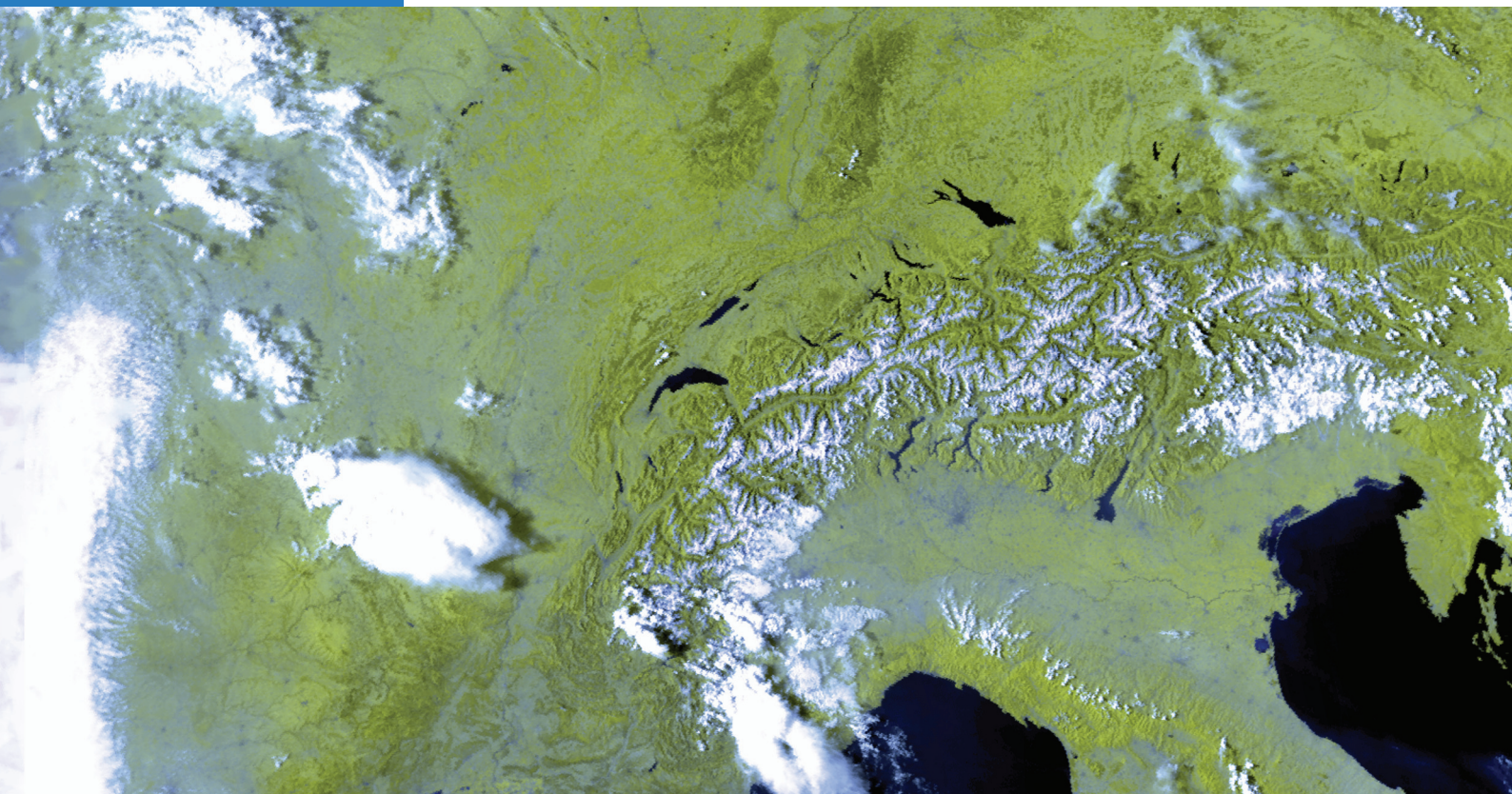


Le climat change, en Suisse aussi

Les points principaux du

troisième rapport du GIEC sur l'état des connaissances,
du point de vue de la Suisse



Le climat change, en Suisse aussi

Les points principaux du

**troisième rapport du GIEC sur l'état des connaissances,
du point de vue de la Suisse**

Impressum

Auteurs du rapport

Christian Albrecht	Office fédéral du développement territorial ODT, Berne
Peter Baccini	Stoffhaushalt und Entsorgungstechnik, EPF Zurich
Andrea Baranzini	Université de Genève et École Polytechnique Fédérale de Lausanne
Martin Beniston	Institut de Géographie, Université de Fribourg
Harald Bugmann	Département Forstwissenschaften, EPF Zurich
Thomas Bürki	Thomas Bürki GmbH, Benglen
Samuel Fankhauser	European Bank for Reconstruction and Development, London
Andreas Fischlin	Institut für Terrestrische Ökologie, EPF Zurich
Jürg Fuhrer	Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zurich
Yves Gonseth	Centre suisse de cartographie de la faune, Neuchâtel
Sabine Güsewell	Geobotanisches Institut, EPF Zurich
Roland Hohmann	ProClim-, Berne
Josef Janssen	Institut für Wirtschaft und Ökologie, Université de Saint-Gall
Fortunat Joos	Klima- und Umweltp Physik, Université de Berne
Wolfram Kägi	B.S.S. Economic Consultants, Bâle
Daniel K. Keuerleber-Burk	MeteoSuisse, Zurich
Nino Künzli	Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Université de Bâle
Lucy Oglesby	Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Université de Bâle
Pascal Previdoli	Office fédéral de l'énergie, Berne
Bruno Schädler	Office fédéral des eaux et de la géologie, Berne
Thomas Stocker	Klima- und Umweltp Physik, Université de Berne

Experts

Wilfried Haeberli	Geographisches Institut, Université de Zurich
Eberhard Jochem	Center for Energy Policy and Economics, EPF Zurich
Atsumu Ohmura	Institut für Atmosphären- und Klimawissenschaften, EPF Zurich
Christoph Schär	Institut für Atmosphären- und Klimawissenschaften, EPF Zurich
Heinz Wanner	Geographisches Institut, Université de Berne
Alexander Wokaun	Paul Scherrer Institut, Villigen

Auteurs de contributions supplémentaires

Wilfried Haeberli	Geographisches Institut, Université de Zurich
Hans Hurni	Geographisches Institut, Université de Berne
Eberhard Jochem	Center for Energy Policy and Economics, EPF Zurich
Nino Künzli	Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Université de Bâle
Hansruedi Müller	Forschungsinstitut für Freizeit und Tourismus, Université de Berne
Urs Neu	ProClim-, Berne
Alexander Wokaun	Paul Scherrer Institut, Villigen

Groupe d'accompagnement OcCC

Gabi Hildesheimer	Vereinigung für ökologisch bewusste Unternehmensführung, Zurich
Ruth Kaufmann-Hayoz	Interfakultäre Koordinationsstelle für Allg. Ökologie, Université de Berne
Hansruedi Müller	Forschungsinstitut für Freizeit und Tourismus, Université de Berne

Direction du projet et rédaction

Roland Hohmann	ProClim-, Berne
----------------	-----------------

Collaboration rédactionnelle

Bettina Büchler	ProClim-, Berne
Theres Grau	ProClim-, Berne
Sonja Trappe	ProClim-, Berne

Layout

Roland Hohmann	ProClim-, Berne
Gabriele Müller	ProClim-, Berne

Traduction française

Jean-Jacques Dätwyler, Sciencepress, Wabernstrasse 34, 3007 Berne

Révision

Jean-Claude Baltzinger, Pomi-Verdan, 1267 Vich

Ce rapport a été accepté par l'OcCC le 10 janvier 2002.

Table des matières

Editorial	4
Préface	5
Résumé	7
1. Description des changements climatiques	9
1.1. Observation des changements climatiques	9
1.2. Changement du bilan radiatif de la Terre	13
1.3. Cause des changements climatiques de ces 50 dernières années	14
1.4. Estimation de changements futurs jusqu'en 2100	15
1.5. Scénarios de stabilisation et leurs conséquences	19
2. Effets du changement climatique	21
2.1. Effets des changements climatiques sur le cycle de l'eau et l'économie des eaux	21
2.2. Effets des changements climatiques sur les écosystèmes	22
2.3. Changement du potentiel des puits de CO ₂	25
2.4. La santé	27
2.5. Secteurs des assurances et des finances	29
2.6. Zones d'habitation, consommation d'énergie et tourisme	31
3. Stratégies d'atténuation des changements climatiques	33
3.1. Potentiel technique de réduction des émissions	33
3.2. Réduction de la concentration de CO ₂ au moyen de puits de carbone	34
3.3. Obstacles et imperfections du marché	36
3.4. Instruments et mesures	37
3.5. Coûts de l'atténuation des changements climatiques	39
Bibliographie	42
Glossaire	43

L'image satellite de l'arc alpin présente encore de vastes zones blanches. Les glaciers des Alpes, qui ont pour notre pays une valeur inestimable, sont clairement reconnaissables. Pour combien de temps encore?

Le volumineux rapport scientifique du GIEC sur le climat, élaboré et expertisé par des centaines de chercheuses et de chercheurs, met en évidence les tendances prévisibles du climat et leurs conséquences. La réalité d'un réchauffement de l'atmosphère a été maintes fois mise en doute. Aujourd'hui, les faits scientifiques parlent un langage clair: l'effet de serre change notre environnement.

Le présent rapport résume les données significatives pour la Suisse du rapport du GIEC. De nombreuses conséquences des changements climatiques sont évidentes. L'élévation des températures moyennes fait fondre la glace. En Suisse depuis des années, la plupart des glaciers reculent. Quelles conséquences le spectre du manque de neige aura-t-il pour les sports d'hiver? Mais des températures plus hautes entraînent aussi le recul du permafrost. Une instabilité plus grande des sols, des glissements de terrain et des coulées de boue sont à craindre.

Il faudra compter sous nos latitudes avec davantage de précipitations, des intempéries plus fréquentes et plus d'inondations, qui s'accompagneront de dommages matériels plus importants et de davantage de souffrance humaine. Un climat plus chaud changera la couverture de végétation et la composition des espèces constitutives de nos forêts. Les forêts de feuillus trouveront de meilleures conditions de développement face aux forêts de résineux. Certaines plantes pousseront plus vite. Qu'est-ce que cela signifie pour notre écosystème? Quelles en seront les conséquences pour notre agriculture?

La politique est mise au défi. Au 19^e siècle, la Suisse fut confrontée à une accumulation de catastrophes naturelles – inondations, éboulements, glissements de terrain et avalanches. Ces catastrophes obligèrent nos ancêtres à protéger sévèrement la forêt – c'était il y a 125 ans. La première loi sur la forêt vit le jour. «La Suisse a entendu la voix de la forêt, pris ses avertissements au sérieux et donné le coup d'envoi à une protection de l'environnement moderne. Aujourd'hui, nous ne voulons pas attendre que les catastrophes se soient produites, mais agir avec prévoyance en matière de politique du climat», écrit Moritz Leuenberger, président de la Confédération. Révolutionnaire pour l'époque, la loi sur la police des forêts, qui remonte à 125 ans, reposait sur le principe du développement durable. Elle n'autorisait pas à utiliser plus de bois que la quantité produite par la croissance des arbres. La surface de forêt devait rester constante. La loi sur la police des forêts fut en 1876 – et est encore – exemplaire au niveau international.

C'est pourquoi j'attends de notre gouvernement et de notre parlement qu'ils soient prévoyants et tirent les conséquences qui s'imposent des résultats du rapport du GIEC. La Suisse doit faire tout ce qui est en son pouvoir pour éliminer les causes du problème planétaire du changement climatique. Il faut qu'elle participe activement à la mise en œuvre du Protocole de Kyoto partout dans le monde. Comme nos ancêtres, qui se sont montrés clairvoyants en rédigeant une loi sur la forêt exemplaire. Mais il faut aussi que chacun d'entre nous prenne toutes les dispositions possibles pour modérer son usage des combustibles et carburants fossiles. De nombreuses propositions réalistes existent. Mettons-les en œuvre.



Dr. Kathy Ricklin
Conseillère nationale, Présidente de l'OcCC

Préface

Le troisième rapport sur l'état des connaissances (TAR) du Groupe d'experts inter-gouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, en anglais IPCC) a été publié en 2001. Plus de 2500 spécialistes ont collaboré au TAR. Sur plus de 3000 pages, le rapport, qui a été soumis à une expertise approfondie, fait le point des connaissances actuelles. Il se compose des 3 volumes des groupes de travail I, II et III, ainsi que d'un rapport de synthèse (accessibles sur le web à l'adresse www.ipcc.ch/pub/tar):

- Le rapport du groupe de travail I (*Changements climatiques 2001: la base scientifique*) porte sur le climat, les causes des changements climatiques, les analyses du climat du passé, évalue les changements climatiques futurs et identifie et quantifie les influences humaines ayant affecté le climat de ces 50 dernières années.
- Le rapport du groupe de travail II (*Changements climatiques 2001: impacts, adaptation et fragilité*) porte sur la fragilité, la faculté d'adaptation et la vulnérabilité de systèmes naturels et socio-économiques face aux changements climatiques, ainsi que sur les conséquences possibles et les possibilités d'adaptation au niveau régional et global.
- Le rapport du groupe de travail III (*Changements climatiques 2001: mesures d'atténuation*) porte sur les options technologiques et biologiques permettant d'atténuer le changement climatique, sur les coûts et bénéfices additionnels de ces mesures, sur les obstacles à leur mise en oeuvre, ainsi que sur les démarches, mesures et instruments politiques permettant de surmonter ces obstacles.
- Le rapport de synthèse (*Changements climatiques: rapport de synthèse*) répond à des questions d'ordre politique, soulevées en rapport avec la convention cadre sur le changement climatique.

Le GIEC a été fondé en 1988 par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE). Depuis 1990, le GIEC a élaboré toute une série de rapports sur l'état des connaissances, de rapports spéciaux, de documents techniques et autres produits. Ils sont souvent utilisés comme ouvrages de référence par des décideurs politiques, des chercheurs et d'autres experts.

L'Organe consultatif sur les changements climatiques (OcCC) s'est fixé pour tâche de présenter, en un langage largement accessible, les éléments les plus importants pour la Suisse des rapports des groupes de travail I, II et III. 21 spécialistes ont été chargés de lire certains des chapitres et d'en résumer les données significatives pour la Suisse. Il leur a été demandé de s'en tenir au contenu et d'ignorer les résultats de nouvelles études ou de leurs propres travaux de recherche qui n'auraient pas été pris en considération dans le TAR. Leur marge d'interprétation se limitait au choix des données et au poids attribué à ces dernières. Six spécialistes indépendants ont expertisé et révisé le résumé. Pour mettre plus nettement en évidence en quoi la Suisse est concernée, le rapport est complété par sept textes d'experts sur des thèmes choisis (sur fond jaune). Ces textes contiennent aussi des informations qui ne figurent pas dans le TAR. Le rapport a été accepté par l'OcCC le 10 janvier 2002.

En publiant ce résumé, l'OcCC aimerait rendre le contenu du TAR accessible à un plus large éventail de personnes intéressées. Comme autre prestation, les résumés réalisés par les trois groupes de travail à l'attention des décideurs politiques et le rapport de synthèse ont été traduits par ProClim- et l'OcCC en collaboration avec des organisations de recherche allemandes et autrichiennes. Ces rapports en français et en allemand peuvent être obtenus auprès de ProClim-.

Résumé

Le troisième rapport sur l'état des connaissances (TAR) du GIEC est disponible. Un groupe de travail de l'OcCC a résumé les principaux résultats du TAR qui concernent la Suisse:

Les observations mettent en évidence un réchauffement global de la Terre et d'autres changements climatiques.

Les années 1990 furent probablement la décennie la plus chaude du siècle et 1998 l'année la plus chaude des mille dernières années. Au cours du 20^e siècle, les précipitations ont augmenté sur les continents aux latitudes moyennes à hautes de l'hémisphère Nord. La couverture de neige et de glace a diminué et le niveau de la mer est monté.

L'augmentation de température des 50 dernières années est probablement attribuable en très grande partie aux activités humaines. Les concentrations de dioxyde de carbone, méthane et protoxyde d'azote – des gaz à effet de serre – ont fortement augmenté depuis le début de l'ère industrielle. Les modèles de climat ne parviennent à simuler le réchauffement observé pendant les 50 dernières années que s'ils tiennent compte de l'augmentation des gaz à effet de serre.

La composition de l'atmosphère continuera de changer sous l'influence humaine. D'ici la fin du 21^e siècle, la température globale moyenne se sera élevée de 1.4 à 5.8°C. Très probablement, la température augmentera davantage sur les terres émergées et dans l'arc alpin qu'en moyenne globale. Les zones enneigées et les glaciers alpins continueront de fondre tandis que le niveau de la mer poursuivra sa montée.

Les changements climatiques causés par l'activité humaine s'étendront sur plusieurs siècles. Si l'on veut stabiliser la teneur de l'atmosphère en CO₂, il faudra ramener les émissions globales au-dessous de leurs niveaux actuels. Along terme, les émissions devraient tomber à une fraction des valeurs actuelles.

Les changements climatiques ont un impact sur la nature et la société.

Dans les montagnes, les changements climatiques auront pour conséquence que les glaciers et le permafrost continueront de reculer. Dans les Alpes, les précipitations sous forme de neige diminueront; en certains endroits, elles feront même entièrement défaut. Dans de nombreuses régions, la fréquence et l'ampleur des crues augmenteront, surtout en hiver.

L'impact des changements climatiques sur les écosystèmes diffère d'une région à l'autre et se combine avec d'autres effets environnementaux. La diversité biologique des écosystèmes naturels va se modifier. L'accélération de la croissance de la végétation, découlant de concentrations de CO₂ plus élevées et de températures plus chaudes, est limitée par d'autres facteurs. Au début, on pourra compter avec une augmentation de la fonction de puits des écosystèmes ruraux sous l'action du changement climatique. Mais si le climat continue de changer, ces écosystèmes pourraient se transformer en sources de carbone.

Dans les zones tempérées, des étés plus chauds et des vagues de chaleur plus fréquentes entraîneront une augmentation du nombre des décès. Les effets de la pollution de l'air sur la santé seront probablement accentués par les changements climatiques. La propagation et la fréquence des maladies infectieuses changeront.

Les dommages économiques et les dégâts assurés des catastrophes naturelles ayant des causes météorologiques ont beaucoup augmenté. Dans le secteur de la finance, ce sont les assurances qui sont directement touchées. Une corrélation entre l'augmentation des dommages et les changements climatiques n'est pas encore clairement établie.

Il est possible de réduire les émissions de gaz à effet de serre par des mesures techniques et d'atténuer l'accroissement des concentrations de gaz à effet de serre par des moyens biologiques.

L'insuffisance des mesures économiques et politiques rend souvent plus difficile la mise en œuvre des mesures techniques de réduction des gaz à effet de serre. Diverses entraves, ainsi que les imperfections du marché font obstacle à une utilisation plus grande des technologies et procédés innovants.

De nombreuses options politiques se présentent pour réduire les gaz à effet de serre. Une combinaison de mesures permet de mener la politique du climat au succès. Les mesures et stratégies politiques devraient être coordonnées et harmonisées au niveau international.

Les coûts des mesures d'atténuation du changement climatique jouent un rôle central. Les mécanismes flexibles du Protocole de Kyoto permettent d'abaisser ces coûts de façon décisive. Il n'y a pas de rapport entre le niveau d'une taxe sur le CO₂ et le développement du PIB.

1. Description des changements climatiques

Ce premier chapitre résume les éléments les plus importants pour la Suisse des données fournies par le groupe de travail I dans le 3^e Rapport du GIEC sur l'état des connaissances (TAR). Sur près de 900 pages, le rapport présente les connaissances acquises ces 5 dernières années par la recherche sur les changements climatiques.

Les changements climatiques sont un processus global. Ce résumé les décrit donc aussi de façon globale. Il porte sur les changements climatiques observés jusqu'ici, les changements du bilan radiatif de la Terre, les causes des changements climatiques observés, l'évaluation des changements climatiques futurs et les scénarios visant à stabiliser les gaz à effet de serre.

Dans ce résumé, nous utiliserons les appréciations du groupe de travail du GIEC pour exprimer le degré d'incertitude: *pratiquement sûr* (>99% de probabilité que l'affirmation est pertinente), *très probable* (90-99%), *probable* (66-90%), *probabilité moyenne* (33-66%), *improbable* (10-33%), *très improbable* (1-10%), *extrêmement improbable* (<1%).

1.1. Observation des changements climatiques

Les observations font apparaître globalement un réchauffement de la planète. La température moyenne à la surface de l'hémisphère Nord a augmenté probablement davantage au cours du 20^e siècle que pendant les périodes comparables des derniers 1000 ans. Les années 90 furent probablement la décennie la plus chaude, et 1998 l'année la plus chaude des derniers 1000 ans. Parallèlement, la couverture de neige et de glace a diminué au 20^e siècle, les pluies ont très probablement augmenté et le niveau de la mer est monté.

La planète se réchauffe:

Les estimations des fluctuations de température au cours des 1000 dernières années se sont nettement améliorées depuis le 2^{me} rapport d'évaluation (SAR) en 1995. Elles permettent de situer l'augmentation de température du 20^e siècle dans une perspec-

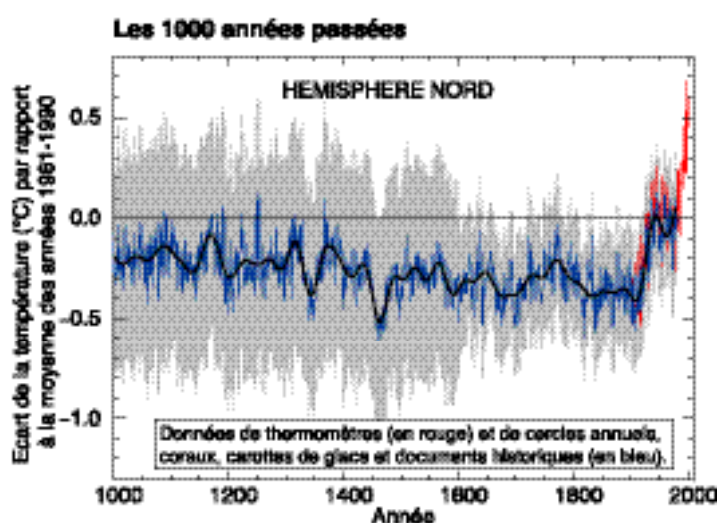


Figure 1: Des augmentations de température telles qu'observées depuis 1910 ne se sont jamais présentées avec une durée et une ampleur comparables au cours des derniers 1000 ans. Mesures directes en rouge, données reconstruites en bleu, courbe de la moyenne (moyenne mobile sur 50 ans) en noir. La marge d'incertitude (en gris) croît avec l'âge des données.

tive à plus long terme (figure 1). Du 11^e au 14^e siècle, les températures de l'hémisphère Nord furent plus hautes que pendant la période du 15^e au 19^e siècle (petit âge glaciaire). Il n'existe toutefois aucun indice selon lequel il s'agirait de fluctuations synchrones à l'échelle planétaire. Le réchauffement global persistant au cours du 20^e siècle ne peut pas être interprété simplement comme étant la phase terminale du petit âge glaciaire, car un réchauffement de cette durée et de cette ampleur ne s'est jamais produit au cours des 1000 dernières années.

Le réchauffement observé au cours du 20^e siècle s'est déroulé en deux phases, de 1910 à 1945 et à partir de 1975. Dans l'hémisphère Nord, le réchauffement fut de $0.17 \pm 0.04^\circ\text{C}/\text{décennie}$ pendant la première phase, et de $0.26 \pm 0.09^\circ\text{C}/\text{décennie}$ à partir de 1975. Le réchauffement fut plus marqué dans l'hémisphère Nord que dans l'hémisphère Sud (figure 2). Les températures nocturnes ont augmenté davantage que les températures diurnes, ce qui a provoqué un allongement de la période annuelle sans gel.

Tendances des températures de 1975 à 2000

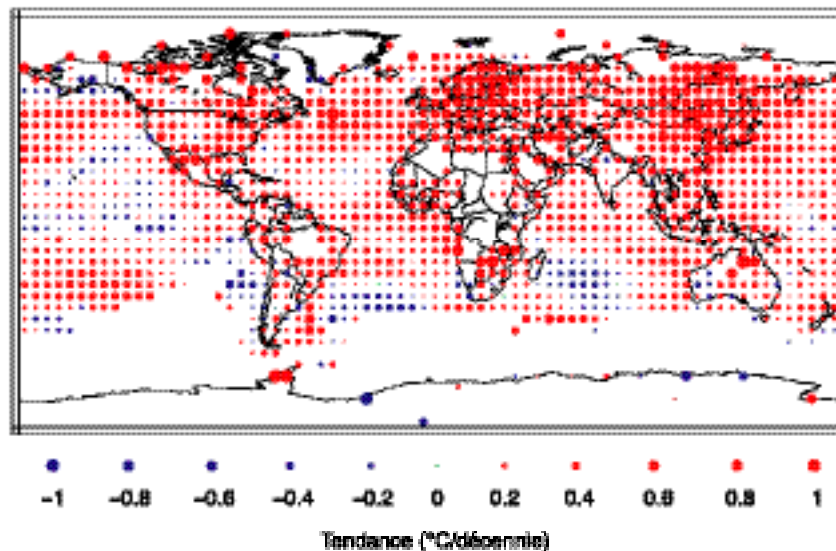


Figure 2: L'hémisphère Nord s'est réchauffé davantage que l'hémisphère Sud. Tendances de la température à la surface du globe, en $^\circ\text{C}$ par décennie, calculées à partir des températures annuelles moyennes des années 1976 à 2000. Les tendances sont indiquées par la taille des points (réchauffement en rouge, refroidissement en bleu).

Moins de neige et de glace:

Depuis 1960, la surface de la couverture neigeuse dans l'hémisphère Nord a très probablement reculé d'environ 10%. Depuis le milieu du 19^e siècle, partout dans le monde les glaciers reculent dans les régions de montagnes. Bien que les températures n'aient que faiblement augmenté sous les tropiques depuis 1980, on y relève un recul rapide des glaciers. Depuis 1950, la surface de la banquise, au printemps et en été, a diminué de 10 à 15% dans l'océan Arctique, son épaisseur s'est même réduite de 40% pendant cette même période. Dans l'Antarctique par contre, on a constaté une légère augmentation de l'étendue de la banquise.

Davantage de précipitations:

Pendant le 20^e siècle, les précipitations sur les zones continentales aux latitudes moyennes à élevées de l'hémisphère Nord ont très probablement augmenté de quelque 0.5 à 1% par décennie. Des mesures et des observations par satellites indi-

quent que la teneur en vapeur d'eau de l'atmosphère a probablement augmenté de plusieurs pour cent par décennie depuis les années 70. L'augmentation de la couverture nuageuse, probablement de 2% au cours du 20^e siècle aux latitudes moyennes et hautes, est en rapport avec la diminution observée des fluctuations journalières des températures.

Dans les régions où les précipitations ont globalement augmenté, il y a eu très probablement aussi un accroissement du nombre des précipitations fortes et extrêmes. Par contre, il n'existe aucun indice d'une augmentation de la fréquence et de la violence des tempêtes tropicales et subtropicales.

Evolution de la température en Suisse au cours du 20^e siècle

L'élévation de la température en Suisse durant le 20^e siècle est nettement plus forte qu'en moyenne globale. Cette élévation résulte, comme pour la moyenne globale, principalement de la forte augmentation enregistrée pendant les trois dernières décennies.

Dans les stations suisses, on ne constate pas de différence significative de l'évolution en fonction de l'altitude. Par contre, des différences régionales sont perceptibles entre la Suisse occidentale et orientale et entre le Nord et le Sud des Alpes. Le 20^e siècle présente les tendances linéaires suivantes¹:

- Suisse alémanique² : 1.3 °C (1.2 – 1.5)
- Suisse occidentale³ : 1.6 °C (1.5 – 1.7)
- Sud des Alpes⁴ : 1.0 °C

La moyenne globale correspondante est de 0.6°C.

Pendant les 30 dernières années, l'augmentation de température d'environ 0.4 – 0.6°C par décennie enregistrée en Suisse est nettement plus grande qu'en moyenne globale (0.1 – 0.2°C par décennie). Les tendances linéaires de 1971 à 2000 sont un peu plus faibles aux altitudes moyennes et au sud des Alpes (environ 0.5°C/décennie) que sur le Plateau (environ 0.6°C/décennie).

Il y a de nombreuses raisons possibles à cette augmentation de température nettement plus forte en Suisse qu'en moyenne globale, et il est probable que plusieurs facteurs interviennent. Par exemple:

- La température au-dessus des continents augmente en général plus fortement que la moyenne globale.
- La diminution du manteau neigeux dans les régions de montagnes entraîne un réchauffement supplémentaire (rétroaction positive) en raison du changement d'albédo (c.-à-d. de l'absorption du rayonnement solaire).
- Des fluctuations internes du climat, d'une périodicité de quelques décennies (p. ex. l'oscillation de l'Atlantique Nord), peuvent se superposer et conduire alors à un renforcement (ou un affaiblissement) du réchauffement. De telles fluctuations naturelles pourraient toutefois changer durablement, également sous l'action du réchauffement global.

Il est difficile d'estimer quels facteurs contribuent au renforcement du réchauffement et dans quelle mesure. Des analyses statistiques, qui ne sont pas encore disponibles actuellement, permettraient éventuellement de déterminer la part qui ne peut être attribuée à des fluctuations relevant du hasard. A noter que des modélisations physiques régionales font presque toujours état également d'un réchauffement plus marqué de l'arc alpin. Pour l'heure, rien n'indique un affaiblissement de la tendance des 30 dernières années.

Dr. Urs Neu

¹ Le calcul des tendances se réfère aux séries de mesures homogénéisées (moyenne annuelle, 12 stations) de la banque de données mensuelles de MétéoSuisse.

² Säntis, Davos, Zurich, Engelberg, Berne, Bâle, Chaumont

³ Châteaux d'Oex, Sion, Genève

⁴ Lugano, Sils-Maria

Le niveau de la mer monte:

On déduit des mesures des marées que le niveau de la mer s'est élevé de 1 à 2 mm par an pendant les 100 dernières années. L'élévation moyenne a été plus importante pendant le 20^e que pendant le 19^e siècle.

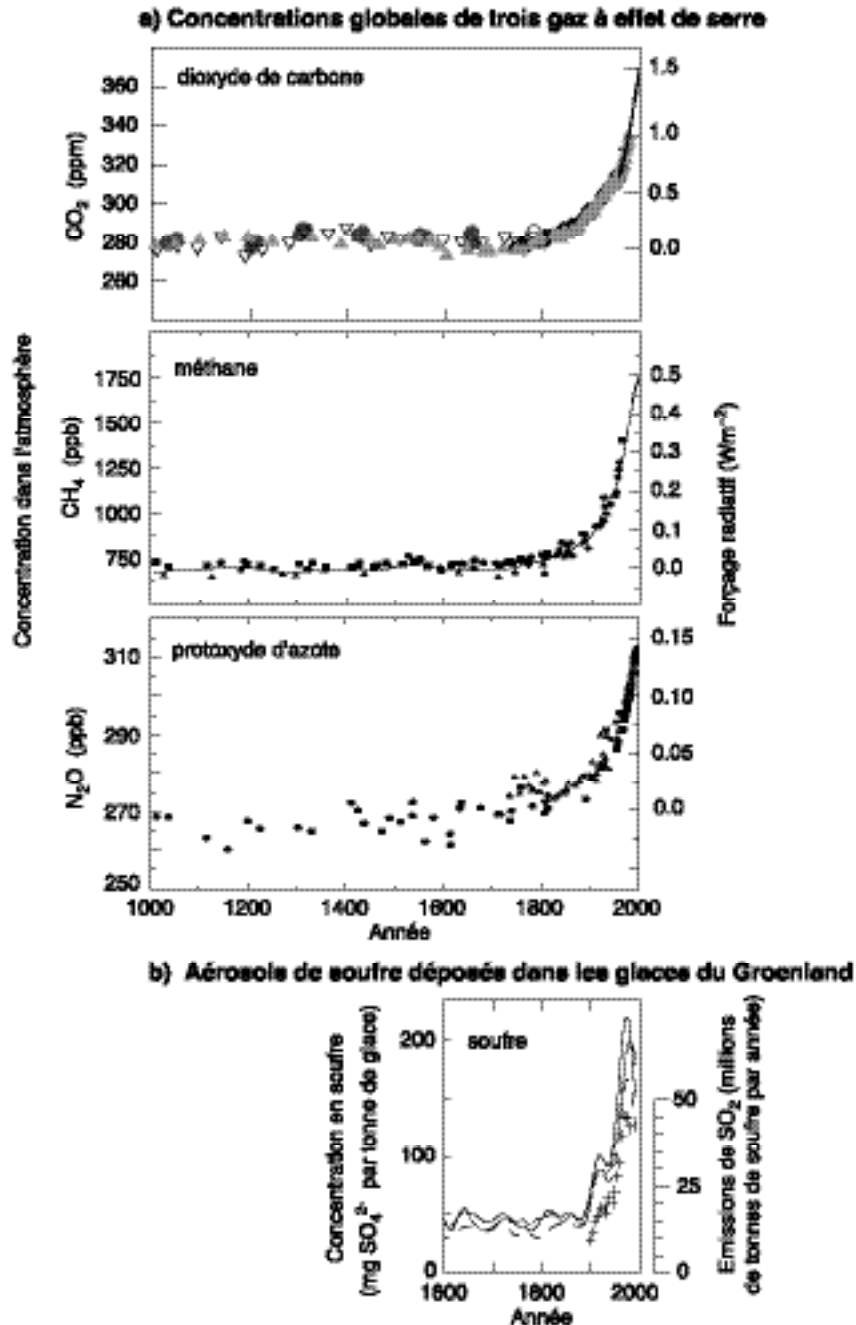


Figure 3: (a) Depuis le début de l'ère industrielle (1750), les concentrations de gaz carbonique (CO₂), de méthane (CH₄) et de protoxyde d'azote (N₂O), trois gaz à effet de serre, augmentent de façon notable dans l'atmosphère. Les symboles désignent les concentrations au cours du dernier millénaire, mesurées dans des bulles d'air incluses dans des carottes de glace de différentes origines; la courbe (dioxyde de carbone) ou les portions de courbe (méthane) représentent les mesures directes effectuées ces dernières décennies. (b) La concentration en soufre dans les glaces du Groenland (courbes) est une indication sur la concentration régionale d'aérosols de soufre dans l'atmosphère. Les émissions de soufre mesurées depuis 1900 (+) augmentent de manière comparable.

1.2. Changement du bilan radiatif de la Terre

Les activités humaines associées à l'émission d'aérosols et de gaz à effet de serre modifient l'atmosphère et par conséquent le bilan radiatif de la Terre (somme du rayonnement qui arrive sur la Terre et de celui qui en repart). On s'attend à ce que l'effet de ce changement sur le climat dure plusieurs siècles. Les facteurs naturels (rayonnement solaire incident et aérosols d'origine volcanique) ont peu contribué au changement du bilan radiatif pendant les 100 dernières années.

La présence des gaz à effet de serre dans l'atmosphère est importante pour la vie sur la Terre. Ils modifient le bilan radiatif de la planète, car ils laissent passer le rayonnement solaire de courte longueur d'onde (rayonnement UV), mais retiennent en partie le rayonnement de grande longueur d'onde émis par la Terre (rayonnement infrarouge). Ainsi la Terre se réchauffe et devient habitable. Cet effet naturel est renforcé par les gaz à effet de serre produits par l'homme.

Davantage de gaz à effet de serre dans l'atmosphère:

Les gaz à effet de serre les plus importants à part la vapeur d'eau sont le gaz carbonique (CO_2), le méthane (CH_4) et le protoxyde d'azote (N_2O). Leurs concentrations ont fortement augmenté pendant les 200 dernières années (figure 3a). Les concentrations de CO_2 et de CH_4 ont augmenté respectivement de 31% et de 151% depuis 1750 et sont plus élevées aujourd'hui qu'elles ne l'ont jamais été pendant les dernières 420'000 années. Une augmentation aussi rapide du CO_2 n'a jamais été observée depuis au moins 20'000 ans.

Environ 75% des émissions de CO_2 pendant les 20 dernières années sont à mettre sur le compte de la combustion de carburants fossiles (pétrole, charbon, méthane) et 25% environ proviennent du changement d'utilisation des sols, avant tout par le déboisement. Les émissions provenant de changements d'utilisation du sol furent plus que compensées pendant les 20 dernières années par une absorption accrue de carbone par la végétation des tropiques et des latitudes moyennes. Il est possible que ce puits de CO_2 soit dû à la croissance des plantes grâce à la concentration plus élevée du CO_2 dans l'atmosphère et à un apport d'azote plus élevé, de même qu'au retour des forêts dans les régions en friche des latitudes moyennes.

L'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre résultant des activités humaines accroît le bilan radiatif de la troposphère d'environ $+2.43 \text{ Wm}^{-2}$. Le «plus» indique un réchauffement de la planète. Aujourd'hui, le CO_2 contribue à raison de 1.46 Wm^{-2} environ à cet effet de serre supplémentaire, le CH_4 à raison de 0.48 Wm^{-2} environ et le N_2O de 0.15 Wm^{-2} environ. D'autres gaz à effet de serre sont les hydrocarbures halogénés (0.34 Wm^{-2}) et l'ozone troposphérique (0.35 Wm^{-2}).

Influence incertaine des aérosols:

Les aérosols, particules minuscules en suspension dans l'air, qui proviennent des processus de combustion (soufre, suie et particules organiques), contribuent généralement à un refroidissement en diffusant la lumière solaire incidente. Des mesures effectuées dans les glaces du Groenland indiquent que les concentrations en aérosols ont fortement augmenté dans l'atmosphère depuis 1900 et ne diminuent que depuis la fin du 20^e siècle, grâce aux progrès technologiques (figure 3b). Leur influence sur le bilan radiatif reste cependant entachée d'incertitudes ($\pm 2 \text{ Wm}^{-2}$).

Faible influence du soleil et des volcans:

Les deux derniers cycles solaires (de 11 ans) ont provoqué, selon des mesures par satellite, des fluctuations du bilan radiatif de l'ordre de 0.2 Wm^{-2} . L'influence de

l'activité solaire sur le bilan radiatif depuis 1750 est estimée à $(0.3 \pm 0.2) \text{ Wm}^{-2}$. Des fluctuations à de plus grandes échelles de temps pourraient avoir causé des variations encore plus grandes, toutefois les estimations à ce sujet ne sont pas suffisamment vérifiées. Elles sont relativement faibles, face à l'augmentation du bilan radiatif de 2.43 Wm^{-2} résultant de l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre.

Les petites fluctuations de l'activité solaire, ajoutées à une activité volcanique plus intense entre 1960 et 1991, ont eu un effet réfrigérant pendant ces 20, voire probablement ces 40 dernières années.

1.3. Cause des changements climatiques de ces 50 dernières années

De nouvelles données montrent clairement que l'augmentation de température des 50 dernières années est probablement attribuable pour une grande part aux activités humaines. Des simulations utilisant des modèles de climat qui ne prennent pas en compte l'augmentation des gaz à effet de serre ne peuvent pas expliquer le réchauffement de la deuxième moitié du 20^e siècle.

Les modèles actuels de climat assistés par ordinateur ne peuvent simuler quantitativement le réchauffement observé au cours des 50 dernières années qu'en prenant en compte l'augmentation des gaz à effet de serre (figure 4). Jusque vers 1950, les fluctuations naturelles du bilan radiatif, associées aux cycles solaires et aux éruptions volcaniques, ont eu une influence substantielle sur la température globale

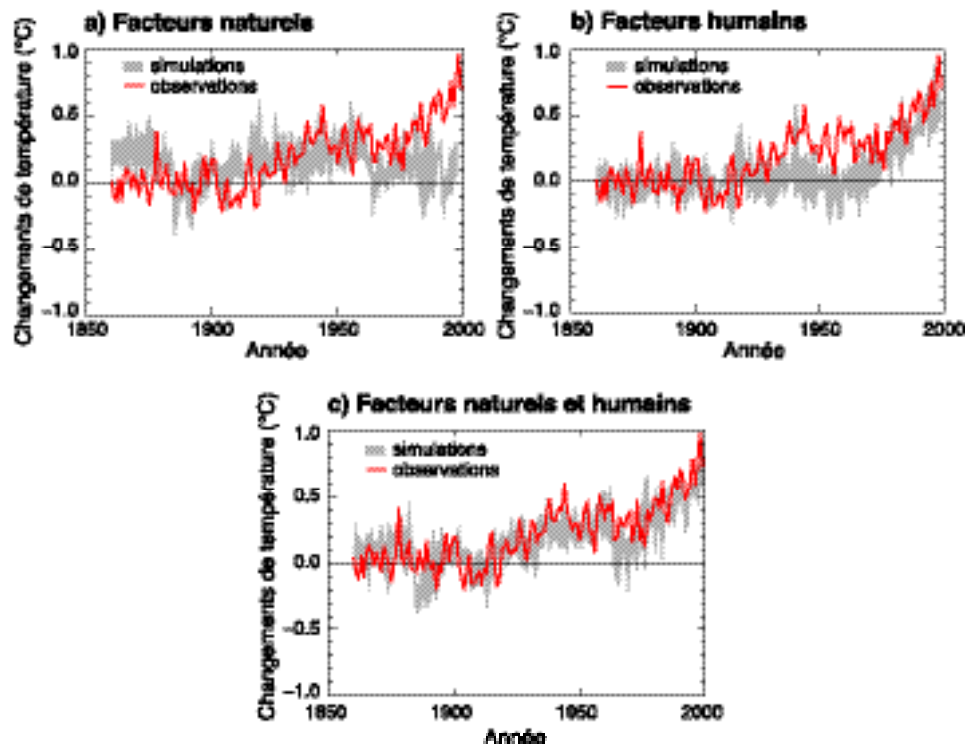


Figure 4: Le réchauffement des 50 dernières années ne peut pas être simulé quantitativement sans faire intervenir les gaz à effet de serre et les aérosols. Changement de la température globale moyenne entre 1850 et 2000, au moyen de simulations basées sur quatre modèles différents (bande grisée), est comparé aux températures mesurées (courbe rouge). Trois sortes d'influences sur le bilan radiatif ont été étudiées: (a) des facteurs naturels (cycle solaire et activité volcanique); (b) des facteurs humains (augmentation des gaz à effet de serre et des aérosols); (c) des facteurs naturels et humains.

moyenne. Mais l'augmentation de température après 1950 n'est pas explicable par les seuls facteurs naturels. Plusieurs simulations, partant de conditions initiales légèrement différentes, confirment ce résultat.

Grâce à de nouveaux modèles et méthodes statistiques, les changements observés au cours des derniers siècles peuvent être attribués à différentes causes. La plupart des études indiquent que le net réchauffement des 50 dernières années peut être attribué à l'augmentation des gaz à effet de serre. Les causes du changement du bilan radiatif, prises en compte dans ces études, suffisent à expliquer les changements de température observés. Cela n'exclut pas que d'autres effets puissent avoir aussi contribué au réchauffement observé. Des incertitudes subsistent quant à l'estimation de la variabilité naturelle, les diverses influences des aérosols et la reconstitution de l'intensité du rayonnement solaire incident et de l'activité volcanique. En dépit de ces incertitudes, l'effet des gaz à effet de serre d'origine humaine au cours des 50 dernières années est bien visible.

1.4. Estimation de changements futurs jusqu'en 2100

Les activités humaines continueront à affecter la composition de l'atmosphère, et la température globale moyenne augmentera dans tous les scénarios ne prévoyant pas de mesures en matière de politique du climat. Aux latitudes Nord, les précipitations augmenteront probablement.

Différents scénarios:

Les 40 scénarios élaborés pour le rapport spécial du GIEC sur les scénarios d'émission (*Special Report on Emission Scenarios*, SRES) décrivent les évolutions possibles des émissions des principaux gaz à effet de serre et aérosols entre 1990 et 2100. Ces scénarios constituent la base des modèles de prévision du climat futur. Ils reposent sur des hypothèses différentes, mais plausibles, relatives au développement technologique, à l'évolution démographique, à la croissance économique et à la globalisation. Elles n'incluent toutefois aucune mesure politique explicite visant à atténuer les changements climatiques.

Les scénarios se subdivisent en quatre familles A1, A2, B1 et B2, qui correspondent chacune à un des secteurs du carré de la figure 5. A1 et A2 sont orientées plutôt vers l'économie, alors que B1 et B2 visent le développement durable. A1 et B1 sont plutôt globales, au contraire de A2 et B2 qui tablent sur les différences régionales. Au sein d'une famille, les scénarios divergents sont classés par groupes, comme les groupes FI, T et B dans la famille A1. Les six scénarios A1FI, A1T, A1B, A2, B1 et B2 sont des *scénarios illustratifs* qui représentent, en proposant un développement possible de l'humanité, les différents scénarios du secteur correspondant:

- A1, global et orienté vers l'économie: croissance économique rapide, pic démographique vers 2050, introduction rapide de technologies nouvelles et efficaces, réduction des disparités économiques globales. Les trois groupes de scénarios, qui décrivent chacun un développement technologique de la forme d'énergie considérée, sont A1FI (sources d'énergie fossile), A1T (sources d'énergie non fossiles) et A1B (combinaison équilibrée de différentes énergies).
- A2, régional et orienté vers l'économie: développement inégal du monde, démographie galopante, économies à développement lent, différentes selon les régions et peu interconnectées.
- B1, global et orienté vers le développement durable: mutation rapide vers une société des services et de l'information, pic démographique vers 2050, introduction rapide de technologies nouvelles et efficaces, nivellement des disparités entre continents, durabilité à l'échelle planétaire.

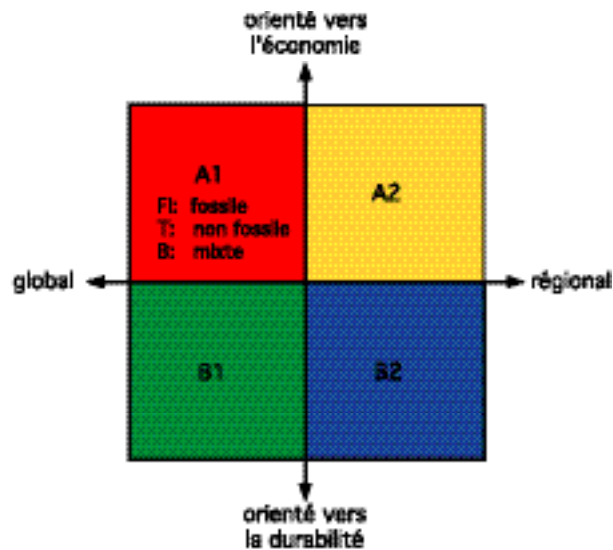


Figure 5: Les quatre familles A1, A2, B1 et B2 des scénarios du GIEC relatifs aux émissions occupent chacune un des secteurs du carré des scénarios. Un scénario représentatif, dit scénario illustratif, représente les différents scénarios possibles à l'intérieur d'un secteur. La famille A1 est représentée par les trois scénarios FI, T et B, qui recourent à d'autres formes d'énergie et se distinguent très nettement quant à leurs conséquences.

- B2, régional et orienté vers le développement durable: solution régionale des problèmes, croissance démographique lente, croissance économique modérée avec disparités régionales, durabilité à l'échelle régionale.

Emissions de CO₂ au 21^e siècle:

Les différents scénarios offrent un large spectre d'évolutions possibles des émissions. Pour les six scénarios illustratifs, les émissions cumulées de dioxyde de carbone jusqu'en 2100 se situent dans une fourchette entre 980 et 2100 gigatonnes de carbone (1GtC = 10^{12} kg C = $3.67 \cdot 10^{12}$ kg CO₂). A titre de comparaison, la teneur en carbone de l'atmosphère avant l'ère industrielle était de 590 GtC et les ressources fossiles sont estimées à 5000 GtC environ.

Concentrations de gaz à effet de serre au 21^e siècle:

L'action combinée de tous les gaz à effet de serre et aérosols conduit dans tous les scénarios SRES à un changement positif du bilan radiatif (réchauffement) de la surface de la Terre et de la basse atmosphère. Les changements des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre et d'aérosols, ainsi que les changements climatiques ont été estimés à l'aide de modèles. Selon les six scénarios illustratifs, la concentration de CO₂ dans l'atmosphère atteindra 540 à 970 ppm d'ici à 2100, soit une augmentation de 90 à 250% par rapport à la concentration préindustrielle de 280 ppm (figure 6a). L'estimation de l'incertitude de ces valeurs, basée sur notre compréhension actuelle du cycle du carbone, se situe entre -10% et +30%. Il est par contre quasi certain que la cause de l'augmentation du CO₂ atmosphérique est avant tout la production de CO₂ due à l'utilisation de combustibles fossiles. Des changements dans l'utilisation des sols, comme mentionnés par exemple aux articles 3.3 et 3.4 du Protocole de Kyoto, peuvent jouer le rôle de puits de carbone et influencer sur la concentration de CO₂ dans l'atmosphère. De telles mesures permettent de réduire la concentration du CO₂ dans l'atmosphère au maximum de 40 à 70 ppm jusqu'en 2100, ce qui représente seulement 10% environ de l'augmentation selon les scénarios illustratifs.

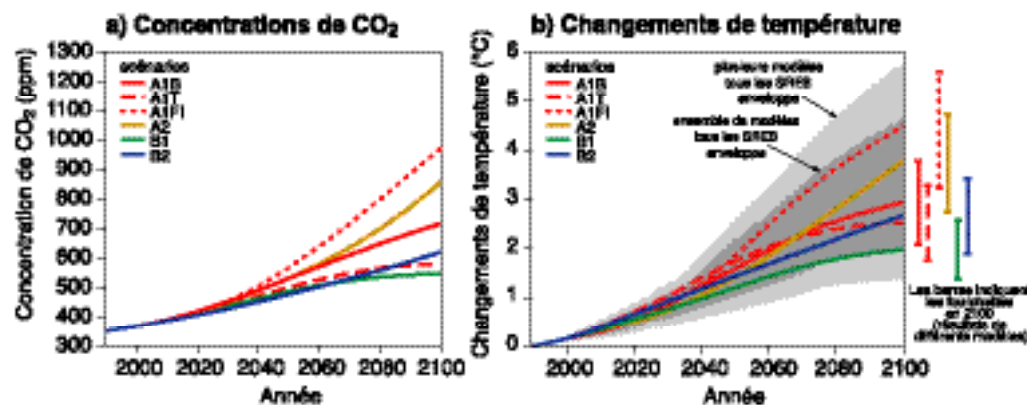


Figure 6: (a) Des modélisations mathématiques du cycle global du carbone indiquent que, pour les six scénarios illustratifs SRES, la concentration de CO₂ dans l’atmosphère atteindra d’ici 100 ans entre 540 et 970 ppm. (b) Selon des projections basées sur les scénarios SRES, l’augmentation de la température globale moyenne de 1990 à 2100 se situera entre 1.4 et 5.8°C. Les changements de température de tous les scénarios et de tous les modèles se retrouvent dans la zone gris clair, la moyenne de tous les modèles pour tous les scénarios dans la zone gris foncé.

Les projections pour les concentrations d’autres gaz à effet de serre (méthane, ozone, protoxyde d’azote, composés halogénés) varient sensiblement entre les six scénarios illustratifs. Par exemple, la concentration de méthane diminue de 190 ppb par rapport au niveau actuel de 1760 ppb (scénario B1) ou augmente jusqu’à 1970 ppb (scénario A2). La forte augmentation des émissions de gaz à effet de serre et d’autres polluants atmosphériques dans certains scénarios conduit à une forte diminution de la qualité de l’air découlant d’une augmentation de la concentration de fond de l’ozone près du sol. Grâce à l’utilisation de nouvelles technologies de dépollution de l’air, les émissions globales de dioxyde de soufre et la concentration moyenne des aérosols du soufre passeront, dans tous les scénarios illustratifs, au-dessous des valeurs actuelles d’ici 2100. Il s’ensuit une réduction de l’effet réfrigérant des aérosols du soufre sur la température à la surface du globe.

Elévation de la température au 21^e siècle:

La température globale moyenne augmentera de 1.4 à 5.8°C entre 1990 et 2100 (figure 6b). Cette fourchette ressort des scénarios SRES et d’un ensemble de différents modèles du climat. Ce réchauffement est 2 à 10 fois plus élevé que celui enregistré au cours du 20^e siècle et est très probablement un fait unique depuis la fin de la dernière ère glaciaire, il y a environ 10’000 ans.

Les changements climatiques sont très différents suivant les régions. Il est très probable que la température augmentera davantage sur la terre ferme et dans le massif alpin qu’en moyenne globale. Il est très probable que la fréquence et l’intensité des vagues de chaleur estivales augmentera dans toute l’Europe et que le nombre de jours de gel diminuera.

Précipitations au 21^e siècle:

Les précipitations augmenteront probablement sous les latitudes moyennes et hautes de l’hémisphère Nord. Dans la plupart des régions dans lesquelles les précipitations augmenteront, la pluviosité variera très probablement davantage d’une année à l’autre. Pour le massif alpin, les modèles indiquent une tendance à la diminution des précipitations en été et à l’augmentation des précipitations en hiver.

Il est probable que la fréquence des fortes précipitations augmentera en Europe, surtout en hiver. L’information sur d’autres phénomènes météorologiques extrêmes est pour l’heure insuffisante pour estimer des tendances à leur sujet; en effet, la

résolution spatiale des modèles globaux du climat n'est pas encore suffisante pour fournir des prévisions fiables. Des phénomènes météorologiques à petite échelle, comme les orages, les tornades et la grêle ne sont par exemple pas simulés par les modèles du climat.

Couverture de neige et de glace au 21^e siècle:

Selon les études sur modèles, la couverture de neige et la banquise continueront de diminuer dans l'hémisphère Nord et les glaciers alpins continueront de fondre.

Élévation du niveau des mers au 21^e siècle:

De 1990 à 2100, l'élévation du niveau moyen global des mers se situera entre 9 et 88 cm. La cause principale en est la dilatation thermique des océans. Cette fourchette est obtenue à partir des scénarios SRES et d'un ensemble de différents modèles climatiques.

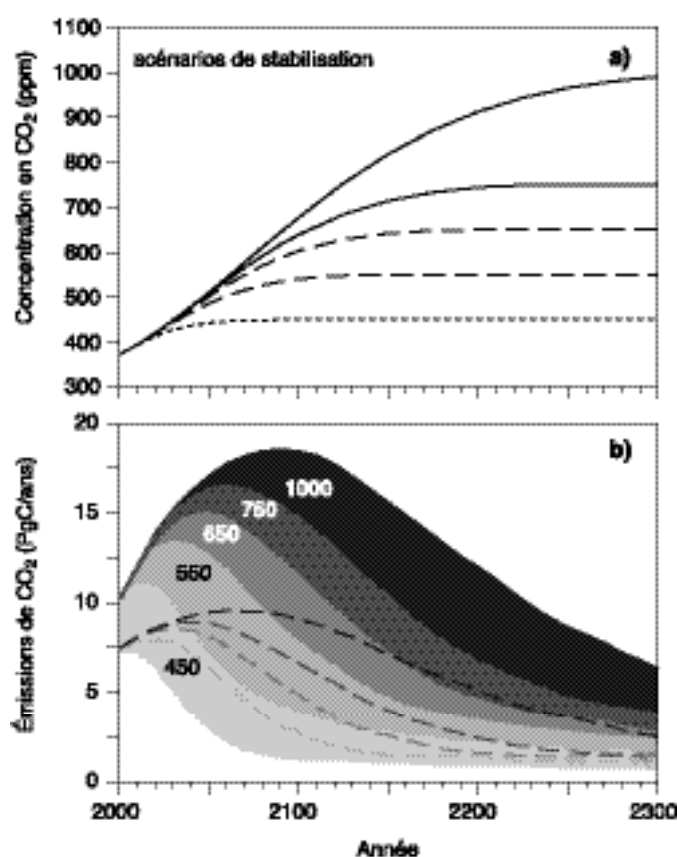


Figure 7: Les émissions globales de CO₂ devront être réduites au-dessous des valeurs actuelles pour stabiliser la concentration du CO₂ dans l'atmosphère. a) Plusieurs scénarios pour une stabilisation des concentrations de CO₂ à moyen ou à long terme (de 50 jusqu'à plus de 300 ans), qui serait possible si les émissions évoluaient selon les domaines correspondants de (b). La fourchette des émissions de chacun des profils (en gris) traduit les incertitudes des connaissances actuelles sur le cycle du carbone. Lorsque les domaines se chevauchent, la limite inférieure de l'incertitude est marquée par une ligne discontinue.

1.5. Scénarios de stabilisation et leurs conséquences

Les changements climatiques engendrés par l'activité humaine dureront plusieurs siècles. Pour limiter les changements du bilan radiatif et du climat, il faut abaisser les émissions de gaz à effet de serre. Une stabilisation de la teneur de l'atmosphère en CO₂ exige une réduction des émissions globales au-dessous des valeurs actuelles.

Le CO₂ persiste dans le système climatique:

Les émissions de CO₂ sont la cause d'un changement durable de la composition de l'atmosphère et du climat. Le CO₂ issu de la combustion de combustibles fossiles n'est pratiquement pas dégradé, mais s'accumule dans le système climatique et se répartit entre l'atmosphère, l'océan et la biosphère. C'est ainsi que dans plusieurs siècles, le quart d'une quantité donnée de CO₂ relâchée aujourd'hui se trouvera encore dans l'atmosphère.

Des modèles du cycle du carbone indiquent que la stabilisation de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère exige une réduction des émissions globales de CO₂ au-dessous des émissions de 1990 (figure 7). A long terme, ces émissions devraient descendre jusqu'à une fraction des valeurs actuelles. Pour tous les scénarios dans lesquels la concentration en CO₂ se stabilise entre 450 et 1000 ppm, et compte tenu des incertitudes des modèles, le réchauffement jusqu'en 2100 est inférieur à 3.5°C (figure 8). On évite ainsi le domaine supérieur des projections fournies par les scénarios SRES pour l'élévation de température (jusqu'à 5.8°C). Plus on stabilise la concentration de CO₂ vers le bas, plus faible est le changement de température. Pourtant, même après la stabilisation des émissions de CO₂, les températures continueront d'augmenter pendant des siècles, car les océans réagissent très lentement.

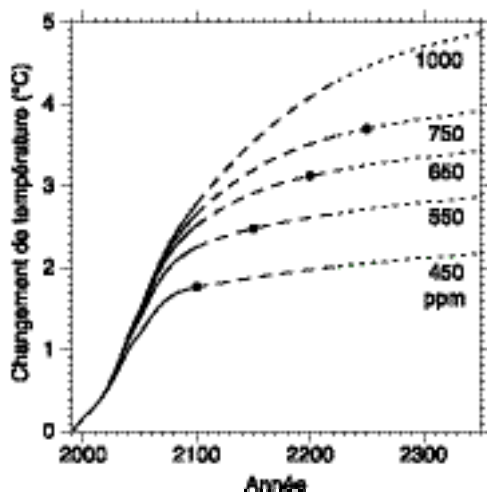


Figure 8: Dans tous les scénarios de stabilisation du CO₂ selon la figure 7a, l'augmentation de la température moyenne globale à la surface de la Terre jusqu'en 2100 reste inférieure à 3.5°C. Sans stabilisation, l'augmentation de la température pourrait aller jusqu'à 5.8°C. Les points noirs indiquent le moment auquel la concentration de CO₂ dans l'atmosphère se stabilise (cf. figure 7a). La température continue de monter aussi après la stabilisation.

D'autres gaz à effet de serre seront dégradés:

Le méthane, l'ozone et les aérosols sont rapidement dégradés. Les concentrations d'ozone troposphérique (assujetties aux émissions de CO, NO_x, hydrocarbures volatils et méthane) et d'aérosols (soufre, suie et particules organiques carbonées) se stabiliseraient en l'espace de quelques jours à quelques semaines et la concentration du méthane en quelques décennies après le «gel» de leurs émissions respectives.

Des gaz à effet de serre tels que le protoxyde d'azote et les composés halogénés se dégradent, mais ont une longue durée de vie. Pour stabiliser leurs concentrations aux niveaux actuels, il faudrait également réduire leurs émissions.

Effets des changements climatiques sur les glaciers et le permafrost dans les Alpes

En haute montagne, la glace réagit de façon particulièrement forte aux changements climatiques. Depuis le milieu du siècle passé jusque dans les années 1970, les glaciers alpins ont perdu au total un bon tiers de leur surface et en gros la moitié de leur masse, tandis que la limite de la neige est montée de près de 100 m. On estime qu'au cours des seules 20 dernières années, un quart à un tiers du volume résiduel a disparu.

L'évolution du permafrost, dont la superficie (env. 5% de la surface du pays) représente en Suisse environ deux fois la surface de ce qui reste encore des glaciers, ne peut pas être saisie de manière aussi précise. Selon les sondages les plus récents, la température de sommets rocheux exposés aurait augmenté pendant le siècle passé d'environ 1°C dans toute l'Europe.

Selon des scénarios plausibles, faisant intervenir l'effet de serre, la limite de la neige dans les Alpes devrait s'élever d'environ 200 m jusqu'au milieu du siècle à venir. Ce qui devrait entraîner la fonte d'une part substantielle du volume des glaciers alpins qui existent encore maintenant et le dégel accéléré de vastes pentes à permafrost, situées au-dessus de la limite des forêts. Un tel scénario prévoit un déplacement spatial du risque de coulées de boue et de chutes de glace en haute montagne et une augmentation de l'extension saisonnière du risque de crue. A long terme, la stabilité de flancs de rocher situés à haute altitude devrait diminuer, lorsque les glaciers auront cessé de jouer leur fonction d'appuis, que la température aura atteint le point de fusion dans des parties de rochers jusqu'ici gelées et que des crevasses autrefois remplies de glace se seront ouvertes à la circulation de l'eau. La recherche en ce domaine n'en est toutefois qu'à ses débuts.

Les changements les plus frappants seront vraisemblablement ceux affectant le cycle de l'eau et le paysage de montagne. L'amenuisement des glaciers sera un signe particulièrement aisé à reconnaître, indiquant que le climat s'éloigne à vitesse croissante de ce qu'on en sait au travers de l'Histoire. En ce qui concerne les risques naturels, des modèles robustes, applicables dans la pratique, devront de plus en plus remplacer les bases de décision traditionnelles, locales et empiriques (chroniques, témoins muets, statistiques etc.). Cela exige la collaboration entre autorités et scientifiques, s'appuyant sur une observation systématique permettant de reconnaître ce qui se passe effectivement – c'est à dire dans la nature.

Prof. Wilfried Haeberli

2. Effets du changement climatique

Le deuxième chapitre résume les éléments les plus importants pour la Suisse des données produites par le groupe de travail II dans le 3^e Rapport du GIEC sur l'état des connaissances (TAR). Le rapport du groupe de travail II traite en plus de 900 pages de la fragilité, de la faculté d'adaptation et de la vulnérabilité de systèmes naturels et socio-économiques face aux changements climatiques, ainsi que des conséquences possibles et des possibilités d'adaptation. Les données fournies sont fondées sur des observations, sur des modélisations mathématiques et sur ce qu'on comprend actuellement des processus et des systèmes climatiques. Le degré de fiabilité des données et de leur interprétation scientifique est évalué sur la base d'une appréciation collective des auteurs. Ces évaluations n'apparaissent pas dans ce chapitre, afin d'en rendre la lecture plus aisée.

La fragilité, la faculté d'adaptation et la vulnérabilité des systèmes naturels et socio-économiques face aux changements climatiques diffèrent beaucoup d'une région à une autre. Etant donné que des données concrètes pour la Suisse font largement défaut dans le rapport, les informations fournies dans ce chapitre sont déduites des données concernant l'Europe centrale et des régions situées aux latitudes moyennes. Ce chapitre aborde l'un après l'autre les effets des changements climatiques sur le cycle de l'eau, les écosystèmes, la santé, les assurances et le secteur des finances, ainsi que sur les zones d'habitation, la consommation d'énergie et le tourisme.

2.1. Effets des changements climatiques sur le cycle de l'eau et l'économie des eaux

L'influence des fluctuations naturelles, lentes, du climat sur le cycle de l'eau est difficile à distinguer des changements causés par l'homme. Les changements du climat entraîneront aussi ceux de la distribution des écoulements. Des précipitations intenses et une augmentation probable de la pluviosité annuelle provoqueront des crues plus fréquentes.

Changements du débit des cours d'eau:

Pour les régions d'Europe situées aux latitudes moyennes, la plupart des scénarios sur les changements climatiques jusqu'en 2050 prévoient que le débit annuel des eaux augmentera en moyenne de quelque 10% au Nord des Alpes, mais qu'il diminuera en moyenne d'environ 10% au Sud des Alpes. Les variations saisonnières des débits changeront aussi sous l'effet du réchauffement climatique. Dans les Alpes, il y aura moins – et dans certaines régions même plus du tout – de précipitations sous forme de neige. Les simulations indiquent en général une augmentation du débit des rivières en hiver dans les régions à faible enneigement, conséquence de précipitations plus abondantes. Mais elles prévoient un écoulement réduit en été, en particulier au Sud des Alpes, en raison d'une fonte des neiges et des glaces moins importante, ce qui aura pour effet d'abaisser le niveau des cours d'eau. Les tendances des débits, observées jusqu'ici, ne peuvent toutefois pas être attribuées avec certitude aux changements climatiques causés par l'homme. Dans les bassins de certains cours d'eau, l'influence des changements climatiques sera moindre, mais dans d'autres plus grande que les fluctuations naturelles.

Crues plus fréquentes:

Ils existent des indices d'une augmentation générale de la fréquence des précipitations intenses comme conséquence du réchauffement global. Dans nombre de régions, la fréquence et l'intensité des crues devraient augmenter, notamment en hiver.

Des changements affectant le cycle de l'eau sont perceptibles dans les Alpes au niveau des sources, mais se font sentir encore jusque dans les régions du cours inférieur des rivières. Sécheresses et crues, comme par exemple dans le bassin du Rhin au début de 1995, se produiront plus fréquemment.

Demande d'eau accrue pour l'irrigation:

Les changements climatiques ne devraient pas avoir d'influence marquée sur les besoins moyens en eau des ménages, de l'artisanat et de l'industrie. Mais ceux de l'agriculture, pour l'irrigation, devraient augmenter. Encore qu'on ne sache pas au juste quelle sera à cet égard la part incombant à l'accroissement de la transpiration (émission d'eau par les plantes) dû au réchauffement, et celle attribuable à une plus forte croissance des végétaux, dont des concentrations de CO₂ plus élevées auront augmenté le rendement.

Economie des eaux et navigation sur le Rhin:

L'économie des eaux devra faire face à davantage d'incertitudes dues aux changements climatiques dans la planification et la gestion des ressources en eaux.

La navigation sur le Rhin jusqu'à Bâle, voie de transport importante et avantageuse pour la Suisse, pourrait être plus souvent entravée par un niveau des eaux très bas en été et en automne, et très haut en hiver et au printemps.

2.2. Effets des changements climatiques sur les écosystèmes

L'impact des changements climatiques sur les écosystèmes est différent suivant les régions et se combine à d'autres facteurs environnementaux. La composition des écosystèmes naturels en terme d'espèces vivantes changera. Dans l'agriculture, l'augmentation des rendements, due à des concentrations en CO₂ plus fortes et à des températures plus élevées, sera limitée par d'autres facteurs.

Les écosystèmes sont essentiels aujourd'hui pour la vie humaine. L'importance des écosystèmes agraires et forestiers est bien connue. Or, presque tous les autres écosystèmes, par exemple les zones humides ou les lacs, remplissent également des fonctions importantes dans le ménage de la nature. Nous ne pourrions pas exister sans les nombreuses richesses et prestations des écosystèmes, ou alors, nous serions contraints de prendre des mesures dispendieuses pour les remplacer sommairement.

Les écosystèmes sont très sensibles aux changements environnementaux et adaptent leurs fonctions aux nouvelles conditions. Mais les changements climatiques ne sont qu'un des nombreux facteurs d'influence. D'autres découlent par exemple de la demande croissante de biens naturels, du morcellement des terres ou de l'apport de substances nocives. Ces influences mettent certains écosystèmes en danger, en favorisent d'autres, ou modifient leurs fonctions. En raison de leur lien étroit avec notre économie, il faut s'attendre à des effets socio-économiques importants de ces changements.

Dans nombre de cas, il est difficile de trouver la cause des modifications affectant les écosystèmes et de quantifier l'importance des changements climatiques. En Suisse notamment, il n'existe guère d'écosystème rural qui ne subisse pas de telles influences. Les changements affectant l'utilisation des sols ont par exemple déjà fortement changé la diversité biologique sur le Plateau, raison pour laquelle il est pratiquement impossible de constater l'influence des changements climatiques de ces dernières décennies. Sans oublier que le changement climatique agit différemment sur les écosystèmes selon les régions.

Changements dans les zones humides, les lacs et les Alpes:

Les zones humides subissent l'influence du changement climatique en premier lieu au travers de changements du ménage hydrologique. L'influence directe du changement de température est moins importante. Conséquence des changements climatiques, il faut s'attendre, dans la plupart des zones humides, à une baisse du niveau de l'eau ou à des périodes sèches plus longues.

Selon leur type ou leur taille, les lacs peuvent réagir de façon sensible aux changements climatiques. Des conséquences possibles sont le réchauffement de l'eau, la diminution de la couverture de glace, la réduction de la teneur en oxygène des eaux profondes et un apport accru de substances nutritives et de sédiments issus du bassin hydrologique. Dans l'hémisphère Nord, les lacs sont recouverts de glace en moyenne presque 20 jours de moins qu'au milieu du 19^e siècle. Ce qui affecte entre autres les cycles biogéochimiques, la teneur en oxygène, et donc aussi l'offre en espaces habitables par les poissons. Dans les eaux continentales, les poissons d'eau froide sont aujourd'hui moins nombreux qu'il y a 30 ans.

Les pronostics sur les changements futurs du bilan des substances nutritives dans les lacs sont souvent contradictoires. Dans les lacs des régions tempérées, le réchauffement du climat pourrait réduire les échanges entre eaux superficielles et profondes, ce qui conduirait alors, surtout dans les petits lacs, à une fertilisation excessive.

Dans les écosystèmes des Alpes, les activités humaines, comme l'intensification de l'agriculture et du tourisme ou encore l'accroissement des apports d'azote, ont un impact aussi important, ou même plus grand, que celui d'un changement climatique.

La production agricole et forestière change:

Pour autant que les substances nutritives dans le sol soient disponibles en quantité suffisante, une augmentation du CO₂ atmosphérique, conjointement avec des températures plus chaudes et des précipitations plus abondantes, accroît le rendement de nombre d'espèces végétales cultivées. Dans les régions plus froides, on note en outre un prolongement de la période de végétation, et dans les régions sèches, un effet stimulateur dû à une meilleure utilisation de l'eau par les plantes.

Mais d'autres facteurs peuvent limiter ces effets positifs: la présence simultanée de polluants atmosphériques (tels que l'ozone), l'intensification du rayonnement UV-B ou des changements du bilan nutritif et hydrologique des écosystèmes agraires pourraient limiter l'augmentation des rendements, voire, dans des cas rares, inverser cette tendance. Un climat plus chaud favorise l'apparition de différentes maladies des plantes et accentue la concurrence des mauvaises herbes dans les cultures agricoles. Des espèces qui aiment la chaleur pourraient se propager, par exemple des herbes d'origine subtropicale qui ont peu de valeur nutritive pour les animaux, ou des espèces végétales ligneuses. Une augmentation du rapport carbone-azote des plantes, associée à une diminution de la teneur en protéines, est propice à l'envahissement par les insectes. Une augmentation de la vitesse du vent et de l'intensité des précipitations favorise l'érosion du sol et donc aussi les pertes de substances nutritives, et diminue la fertilité du sol.

La qualité des produits agricoles est également touchée par les changements climatiques et l'augmentation du CO₂ atmosphérique. Par exemple, la teneur en protéine du blé diminue, ce qui nuit à la qualité de la farine à la cuisson. La qualité des fourrages de prairie diminue de même, les ruminants produisant alors davantage de méthane, un gaz à effet de serre.

Impact sur l'économie agricole et forestière:

Au plan économique, l'agriculture des nations industrialisées sera moins touchée que celle des pays en voie de développement, car les pays industrialisés disposent de davantage de moyens pour procéder aux adaptations nécessaires. On ne peut

encore guère estimer l'influence des changements climatiques sur les prix des marchés mondiaux. On s'attend à ce qu'une élévation de la température de plus de 2.5°C entraîne une augmentation des prix, ce qui pourrait avoir un effet bénéfique sur la production indigène en Suisse.

Des stratégies d'adaptation envisageables de l'économie du bois sont l'intensification et l'extensification, les exploitations forcées ainsi que l'introduction de nouvelles espèces d'arbres, adaptées au climat. Dans un pays de montagnes, comme la Suisse, les coûts qu'impliqueraient de telles mesures figureraient vraisemblablement au premier plan des préoccupations. Selon de récentes études de marché, l'offre de bois globale augmentera avec le changement climatique. Cela ferait baisser le prix du bois, ce qui aurait des effets positifs pour les consommateurs, mais négatifs pour les producteurs de bois dans les conditions actuelles de l'économie forestière.

La faune et la flore changent de composition:

Les changements climatiques provoquent le déplacement des espaces vitaux de certaines espèces. On ne s'attend pas à ce que des écosystèmes entiers se déplacent dans des régions où le climat est plus favorable, car la tolérance à de nouvelles conditions varie d'une espèce à une autre. Il faut compter bien plus avec un changement de la composition de la faune et de la flore sur les sites d'origine, découlant des nouvelles conditions de concurrence.

A cause des changements climatiques, des espèces autres que jusqu'ici domineront dans les prairies et les pâturages. Il en ira de même pour les espèces constitutives des forêts. Par exemple, des feuillus pourraient faire reculer les résineux dans les zones de croissance naturelle de ces derniers. La composition et la structure des forêts se modifient lentement, sans suivre de façon linéaire l'augmentation de la température. En montagne, la surface potentiellement colonisable par les arbres s'accroîtra, puisque la limite des arbres s'élèvera.

La structure et la composition des zones humides changent surtout de par la faculté d'adaptation variable des différentes espèces à un climat plus sec. Il faut compter aussi que des arbres pousseront dans des sites devenus moins humides. A l'échelon local, ce ne sera pas forcément la diversité des espèces qui diminuera, mais bien celle du paysage.

Animaux et plantes se rabattent sur les hauteurs:

Le climat est un facteur de régulation important du monde animal. Conjointement à d'autres facteurs, tels que l'utilisation, la pollution et le morcellement des espaces vitaux et la propagation d'espèces exotiques, la température et les précipitations ont une influence sur l'aire d'extension des espèces animales, sur la distribution des espaces vitaux à l'intérieur de l'aire d'extension et sur la structure des populations animales. De nombreuses études relèvent que la rapidité des changements climatiques déjà observés représente un facteur de stress supplémentaire pour les oiseaux et les animaux sauvages. Chez nombre d'espèces, on constaterait déjà des changements consécutifs aux changements climatiques survenus jusqu'ici, par exemple un déplacement de l'aire d'extension vers des latitudes plus hautes ou des régions à plus haute altitude ou un déplacement des périodes de reproduction. En Europe, on observe un déplacement de l'aire d'extension de certains papillons et oiseaux.

Dans les Alpes, le déplacement géographique de certaines espèces en tant qu'adaptation aux changements climatiques est entravé non seulement par des barrières naturelles telles que des crêtes de montagnes, mais de plus en plus aussi par le morcellement du territoire. Dans les vallées, certaines espèces peuvent s'adapter localement au changement climatique en se repliant sur les hauteurs. Dans l'ensemble, les changements climatiques accéléreront probablement le morcellement et la disparition d'espaces vitaux, ceci surtout dans les régions alpines. La création de

zones laissées en l'état naturel, reliant des paliers à différentes altitudes, pourrait être décisive pour assurer la survie d'espèces particulièrement sensibles. Il est à craindre cependant que plusieurs espèces alpines, entre autres celles qui habitent aujourd'hui les sommets, n'aient que des possibilités limitées de se déplacer.

La fonction de protection des écosystèmes s'amenuise:

En raison des changements climatiques, le recul des glaciers et du permafrost dans les montagnes se poursuivra. Le recul du permafrost dans les Alpes aura pour effet de diminuer la stabilité des pentes et d'augmenter la fréquence et l'ampleur des chutes de pierres et des coulées de boue. En conséquence du changement climatique, le risque d'incendies de forêt pourrait augmenter dans les régions exposées (en Suisse: le Tessin et le Valais). Il n'est pas encore possible de dire dans quelle mesure les forêts des régions de montagne pourront conserver toute leur fonction de protection, en cas de changement important de la composition de la flore des forêts de montagne.

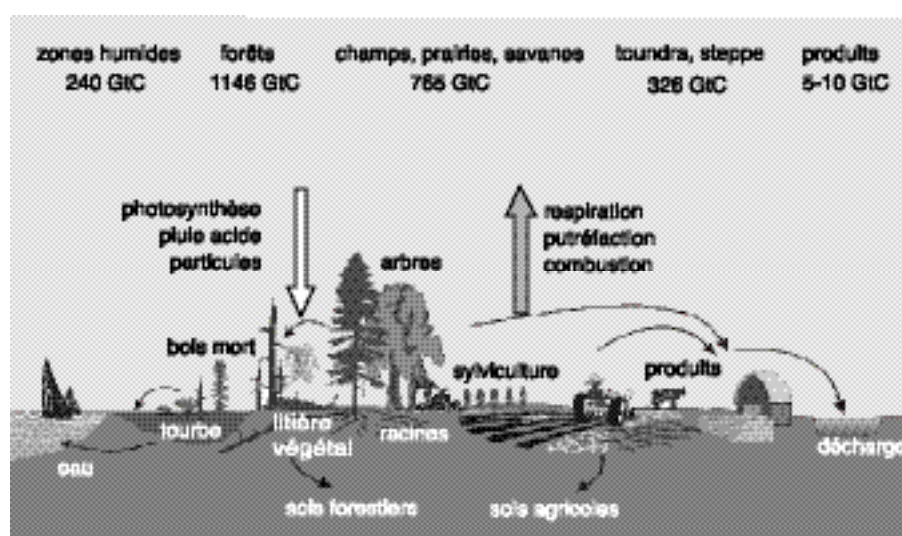


Figure 9: Les écosystèmes ruraux comme moteur du cycle global du carbone: les plantes prélèvent du CO₂ dans l'atmosphère (flèche blanche) par photosynthèse et lient le carbone dans la matière organique végétale. Des plantes et des animaux restituent ce dernier par le processus vital de la respiration (flèche grise). Réserves de carbone dans l'atmosphère et les écosystèmes en GtC.

2.3. Changement du potentiel des puits de CO₂

Des grandes quantités de carbone sont stockées dans les écosystèmes ruraux. En raison des changements climatiques, il faut s'attendre à court terme à ce que les puits de carbone deviennent plus actifs. Mais à plus long terme, les écosystèmes peuvent se transformer à nouveau en sources de carbone.

Puits de carbone:

Un écosystème qui absorbe davantage de CO₂ qu'il n'en rejette dans l'air est appelé puits de carbone. Celui qui perd davantage de CO₂ qu'il n'en absorbe est une source de carbone. Certaines activités humaines, en particulier les changements de l'utilisation du sol consistant à convertir des régions de forêt en terres agricoles, modifient globalement la fonction de réservoir de carbone des écosystèmes ruraux. Le bilan de CO₂ d'un écosystème naturel en équilibre est à peu près neutre.

Les écosystèmes ruraux sont d'importants réservoirs de carbone et, dans des conditions favorables, également des puits de carbone. En particulier, les forêts et les zones humides accumulent de très grandes quantités de carbone. Environ 2500 GtC sont stockés dans les écosystèmes ruraux – en gros 500 GtC dans la végétation et 2000 GtC dans les sols. L'atmosphère terrestre contient actuellement quelque 760 GtC sous forme de CO₂ (Figure 9). Le fait que les écosystèmes ruraux contiennent beaucoup de carbone et en convertissent chaque année d'énormes quantités, conduit à des effets de rétroaction qui influent sur la teneur de l'atmosphère en CO₂. L'impact exact de l'élévation de la température sur le bilan du CO₂ des forêts et zones humides n'est toutefois pas encore suffisamment connu, car des processus contraires agissent simultanément, par exemple une productivité accrue en même temps qu'une respiration plus intense du sol.

La prairie:

Dans des conditions favorables, la prairie constitue un puits de carbone. Dans les régions froides et aux altitudes élevées, le sol est un réservoir de carbone particulièrement important. En cas d'augmentation de la température, la dégradation de la matière organique dans le sol est toutefois accélérée, ce qui fait baisser la réserve de carbone et diminue à long terme la productivité des sols.

La forêt:

L'effet global d'une augmentation de la température sur le bilan de CO₂ des forêts n'est pas suffisamment compris. Cela tient au fait que les études de terrain sur des arbres bien développés sont très coûteuses et techniquement très difficiles à effectuer. Des expériences de gazage font apparaître au bout de quelques années une diminution de l'absorption de carbone par les forêts exposées à une concentration en CO₂ atmosphérique accrue. Des effets tels qu'un taux de croissance plus élevé ou une production plus importante de litière végétale déclinent avec le temps. Mais ces résultats ne sont que partiellement confirmés par d'autres études expérimentales.

Les études à grande échelle sur le cycle global du carbone parlent en revanche une langue claire: aux latitudes moyennes, où se trouve aussi la Suisse, les forêts sont pour l'heure d'importants puits de carbone, et cette tendance est même encore en hausse (2.3 GtC dans les années 1990). Elles sont même en mesure de compenser les grandes quantités de carbone libérées sous les Tropiques dans les années 1990 à la suite de défrichements (1.6 GtC). La raison avancée pour expliquer cet important effet de puits est que l'exploitation de la forêt n'a cessé de diminuer au cours du siècle dernier; mais des effets de fertilisation dus à l'augmentation de 30% de la concentration de CO₂, aux dépôts d'azote produits par l'homme et transportés par l'air, alors que certains phénomènes climatiques pourraient avoir aussi une part de responsabilité.

Zones humides:

L'effet des changements climatiques sur le bilan des gaz à effet de serre des zones humides, qui stockent, aux latitudes nord, d'énormes réserves de carbone sous forme de tourbe, est également peu clair. Un climat plus chaud et plus sec réduit les émissions de méthane – une conséquence de l'abaissement du niveau de l'eau – mais accélère la dégradation de la tourbe (dégagement de CO₂). Mais en même temps, la quantité de CO₂ lié peut augmenter en raison de l'accroissement de la forêt. Dans certains sites humides, des températures en hausse et des concentrations de CO₂ atmosphérique plus élevées peuvent augmenter les émissions de méthane. Le drainage associé à l'utilisation agricole des sols favorise la décomposition de la tourbe et transforme les régions marécageuses en sources de CO₂ et (partiellement) de protoxyde d'azote – un mécanisme dont l'impact sur l'effet de serre n'est pas compensé par la réduction des émissions de méthane.

2.4. La santé

Les changements climatiques auront des effets sur la santé de la population. Dans les régions à climat modéré, des étés plus chauds et des vagues de chaleur plus fréquentes conduisent à une augmentation des décès. Des effets connus de la pollution de l'air sur la santé seront probablement renforcés par les changements climatiques. De plus, la propagation et la fréquence de maladies infectieuses changeront.

Les effets non désirés des changements climatiques sur la santé l'emporteront vraisemblablement sur ceux qui sont souhaitables et le phénomène sera particulièrement fort dans les pays tropicaux et subtropicaux. Mais les changements climatiques affecteront aussi la santé de la population en Europe (et en Suisse). Des stratégies de défense en matière de santé publique pourraient atténuer ces effets.

Diminution possible de la mortalité générale:

Des études effectuées en Europe ont montré que la mortalité générale augmente lorsque les températures d'été sont plus élevées. Plusieurs études documentent l'augmentation de la mortalité pendant les vagues de chaleur. Cette augmentation tient pour l'essentiel à des décès dus à des affections cardio- et cérébro-vasculaires et à des maladies des voies respiratoires. Les plus touchées sont les personnes âgées et la population citadine. Des mois d'hiver plus doux et moins de vagues de froid permettent d'espérer une diminution de la mortalité, surtout dans les zones à climat tempéré. Dans des régions à climat tempéré comme la Suisse, il est possible que la diminution hivernale des décès par maladies cardio-vasculaires fasse, globalement, baisser la mortalité. Il est possible aussi que la population s'adapte à la longue à des températures moyennes plus élevées.

Davantage de polluants atmosphériques nocifs:

Un nombre de jours chauds en augmentation a pour effet d'accroître les émissions d'hydrocarbures volatils et la formation de polluants secondaires tels que l'ozone proche du sol. Il est prévu que le niveau de pollution par l'ozone proche du sol augmentera en Europe. Il y a des indices selon lesquels des températures élevées renforcent la nocivité de l'ozone et d'autres polluants pour la santé humaine.

Les inversions de température, fréquentes en Suisse en hiver et souvent associées au brouillard élevé, augmentent les concentrations de polluants dans les vallées et par conséquent aussi les atteintes à la santé. Il est cependant difficile de prévoir comment les changements climatiques affecteront de telles inversions.

Les changements climatiques déplaceront probablement aussi en Suisse l'apparition saisonnière des maladies liées aux pollens, telles que le rhume des foins. Mais les sources d'allergènes que l'on rencontre à l'intérieur des locaux, comme les acariens, les moisissures et les cafards, sont sensibles au climat, aussi pourraient-elles entrer en scène à d'autres périodes qu'aujourd'hui.

Risque de maladies infectieuses en légère hausse:

Des insectes et les tiques peuvent être des vecteurs de maladies infectieuses. Le climat influence leur répartition et la densité de leurs populations ainsi que leur développement, mais aussi la présence des plantes et animaux hôtes. Les changements climatiques pourraient prolonger la période de contamination par les tiques et faciliter leur dissémination à plus haute altitude et plus au Nord. Les mouches, cafards et rongeurs peuvent être des vecteurs de maladies transmises aux êtres humains par des denrées alimentaires. Les changements climatiques pourraient avoir une influence sur leur répartition et leur activité. Un climat plus chaud associé à une préparation et à une conservation inappropriée des aliments pourrait conduire à une augmentation des infections alimentaires.

En Europe de l'Est, où la dégradation du système de santé a fait réapparaître la malaria, les changements climatiques pourraient encore augmenter les risques de propagation de cette maladie. De même dans les régions méridionales d'Europe, le faible risque de malaria qui existe encore aujourd'hui pourrait augmenter. En Suisse, tout comme dans le reste de l'Europe du Nord et de l'Ouest, les structures de santé publique existantes et l'absence de sites de reproduction adéquats rendent improbable la réapparition locale du paludisme. Mais, du fait du nombre croissant de voyages internationaux, les cas de malaria importés sont en augmentation constante dans tous les pays européens.

En Europe méridionale, la dengue pourrait réapparaître, étant donné que la diffusion du moustique qui est son agent vecteur serait facilitée par les changements climatiques. Le risque d'infection pour les leishmanioses pourrait augmenter pour

Potentiel sanitaire de la politique du climat:

A long terme, les changements climatiques agissent sur la santé, mais une politique du climat permettrait d'obtenir des avantages sanitaires immédiats, vu que les émissions de gaz à effet de serre sont étroitement liées à la pollution atmosphérique locale.

Les processus de combustion dans l'industrie et les transports sont les principales sources de CO₂ en Suisse. Ils polluent également l'air en y rejetant des substances nocives telles que les oxydes d'azote, les poussières fines, le monoxyde de carbone et, en été, l'ozone. Cette pollution atmosphérique provoque des maladies respiratoires et des maladies cardio-vasculaires. Les jours de forte pollution en Suisse, les décès sont en hausse et les admissions à l'hôpital, les visites médicales et les absences au travail sont plus nombreuses. Il ressort du grand projet suisse de recherche SAPALDIA que la fonction pulmonaire se détériore d'autant plus que l'exposition chronique aux polluants est plus élevée au lieu d'habitation. Les personnes qui ont une fonction pulmonaire déficiente ont une espérance de vie plus courte.

Des mesures de politique climatique réduisant aussi bien le CO₂ que les autres polluants issus des combustions fossiles sont particulièrement attractives du point de vue de la politique de la santé. De telles mesures sont par exemple les limitations de vitesse, la promotion de véhicules à faible consommation d'énergie et les technologies de moteurs sans émissions, ainsi que le feroutage des poids lourds. Des prix plus élevés pour l'essence et le diesel peuvent promouvoir indirectement la multiplication de véhicules à faible consommation. Alors que l'utilité directe d'une politique du climat se manifeste à long terme et de façon globale, l'amélioration de la qualité de l'air diminue les atteintes à la santé déjà à brève échéance ici, en Suisse.

Le potentiel sanitaire de la politique du climat dépend des mesures prises. Des réglementations qui visent exclusivement la réduction des émissions de CO₂ ne comportent éventuellement aucun avantage pour la santé ou pourraient même entraîner des dommages supplémentaires. Par exemple, les véhicules diesel dégagent certes un peu moins de CO₂ que les moteurs à essence, mais, avec les technologies actuelles, ils rejettent toujours plus de gaz nuisibles pour la santé et de substances potentiellement cancérigènes. Des contradictions similaires se présentent à propos de l'isolation des bâtiments pour améliorer l'efficacité énergétique si, en raison d'un apport réduit d'air frais, des substances nuisibles à la santé s'accumulent à l'intérieur des locaux.

Il importe d'apprécier les mesures en matière de politique du climat dans leur contexte global. Une politique de transports intégrés, axée sur la durée, recèle le potentiel le plus important pour réaliser les objectifs d'une politique à long terme, à la fois en matière de climat et de santé. Ainsi, la combinaison de différentes mesures de politique des transports – comme la promotion des transports publics et combinés, l'aménagement du territoire, les limitations de vitesse, les systèmes intelligents de gestion du trafic et les facilités offertes aux cyclistes et aux piétons – ne sert pas seulement la politique du climat, mais est profitable aussi à la santé. Ceci étant posé, des stratégies d'ensemble, telles que le plan suisse d'action Environnement et Santé, prennent toute leur importance.

PD Dr. med. et PhD Nino Künzli

l'homme et le chien si les changements climatiques devaient permettre à son vecteur, le phlébotome, de se répandre de la zone méditerranéenne vers le Nord.

Réduire l'usage des combustibles fossiles est profitable à la santé:

Brûler des combustibles fossiles dégage des polluants atmosphériques nuisibles à la santé, des substances qui dégradent l'ozone et des gaz à effet de serre qui ont un impact sur le climat. La réduction de consommation des combustions fossiles profite à l'ensemble du climat et procure donc des bénéfices secondaires, puisqu'elle profite également à la couche d'ozone et à la santé de la population. Une diminution mondiale de la concentration en poussières fines dans l'air, comme stipulée par le Protocole de Kyoto, éviterait jusqu'en 2020 700'000 décès prématurés par an dans le monde, comparé à un scénario du type *business-as-usual* (lequel stipule la poursuite du développement actuel). La substitution des énergies fossiles par des énergies renouvelables, notamment l'énergie éolienne et l'énergie solaire, permettrait tout à la fois de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de maximiser le profit en termes de santé publique.

2.5. Secteurs des assurances et des finances

Les dommages économiques et les dégâts assurés résultant de catastrophes naturelles ayant des causes météorologiques ont fortement augmenté. Dans le secteur financier, ce sont avant tout les assurances qui sont concernées. La croissance démographique et économique, l'implantation des zones habitées dans des régions à risques ainsi que des facteurs environnementaux locaux sont les premiers responsables de l'augmentation des dommages. Une corrélation entre l'augmentation des dommages et les changements climatiques n'est pas encore clairement établie.

Dommages économiques et dégâts assurés ont fortement augmenté:

Depuis les années 1960, les dommages économiques annuels découlant de catastrophes naturelles ont augmenté en valeur réelle d'un facteur 7.9, les dommages assurés d'un facteur 13.6 (Figure 10). De 1985 à 1999, les intempéries ont causé dans le monde des dommages pour un montant total de 707 milliards de dollars. Une fraction seulement de cette somme était assurée. Les tempêtes Lothar et Martin

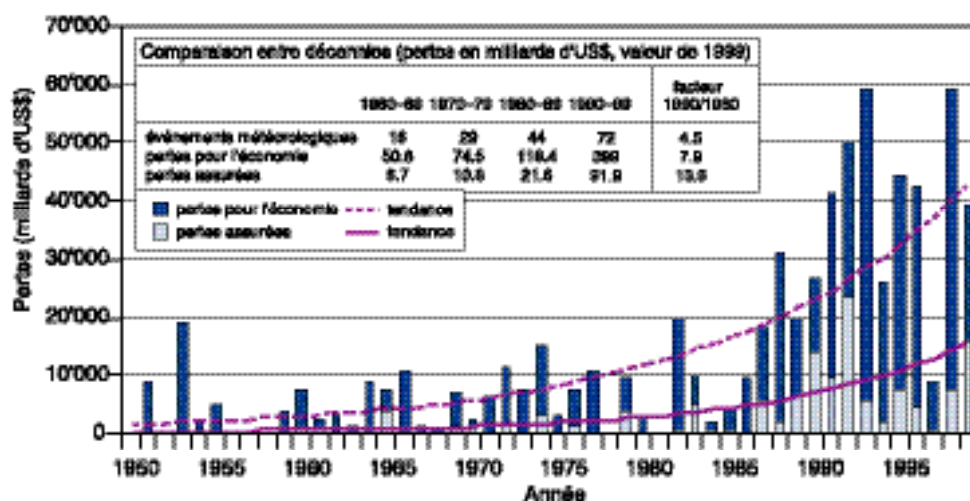


Figure 10: Pertes de l'ensemble de l'économie et pertes assurées. Depuis les années 1960, les pertes annuelles infligées à l'ensemble de l'économie par les catastrophes naturelles ont augmenté d'un facteur 7.9 en valeur réelle, et les pertes assurées d'un facteur 13.6.

Changements climatiques et pays en voie de développement: un défi de plus

Prévisibles et alarmants sont hélas les *effets des changements climatiques sur les pays en voie de développement* (PVD), même si, comparés aux changements socio-économiques et écologiques rapides et aux énormes problèmes qui en découlent, ils ne devraient jouer qu'un rôle mineur. Les problèmes proviennent avant tout du fait que cette partie de la population mondiale a peu de moyens à disposition pour s'adapter et qu'elle est donc la plus vulnérable.

Influence des pays en voie de développement sur le climat: la responsabilité partagée des PVD et des pays nouvellement industrialisés quant aux changements climatiques globaux ne fait aucun doute, même si ces pays, actuellement dans la première période d'engagement du Protocole de Kyoto, ne sont pas tenus de contribuer aux stratégies d'atténuation du changement climatique. En raison de leur démographie galopante et de l'augmentation de leur consommation par tête d'habitant de combustibles fossiles, cette responsabilité va encore croître. A ceci s'ajoutent les changements considérables dans l'affectation des sols, qui s'accompagnent d'émission de CO₂. La production nette globale de CO₂ due aux changements d'affectation des sols est estimée à 1.7 GtC/an pour la période de 1980 à 1990 et représente environ 1/4 des émissions provenant de l'utilisation des énergies fossiles. Elle résulte presque exclusivement du déboisement des forêts sèches et humides, lesquelles sont des ressources en principe renouvelables. En outre, la déforestation pratiquée à grande échelle dans les régions tropicales y diminue le cycle de l'eau et les précipitations, influençant par là probablement le climat global. La plupart du temps, les changements d'affectation des sols s'accompagnent d'une perte de biodiversité et d'une réduction drastique de la teneur en humus des sols. Les conséquences portent alors bien au-delà de la question des changements climatiques.

Rôle des pays en voie de développement dans la stabilisation: la prise en compte des puits de carbone dans le CDM, introduit dans le Protocole de Kyoto, comporte aussi des opportunités pour les PVD, à commencer par les transferts des pays industrialisés. Ces derniers, cependant, n'éviteront pas de devoir remplacer le plus vite possible l'utilisation de leurs combustibles fossiles par des systèmes dont l'approvisionnement s'inscrit dans la durée. C'est la seule manière de motiver les PVD à adopter un jour ces mêmes systèmes.

Responsabilité des nations industrialisées: les problèmes des PVD affectent aussi, mais indirectement, les pays industrialisés. D'une part, ceux-ci sont obligés d'aider les PVD en situation d'urgence, d'autre part, la pression migratoire provenant des zones en crise pourrait monter. Dans les régions concernées, il faut faire comprendre et faire prendre conscience de ces changements et des nécessaires modifications de comportement. Sans compétence nationale et sans coopération avec les populations rurales, leurs efforts d'adaptation et de prévention sont voués à l'échec. C'est pourquoi, une collaboration étendue et intégrale en matière de recherche, sous forme de partenariat avec les PVD, qu'il appartient aux pays industrialisés de financer, est inéluctable.

Prof. Hans Hurni

de décembre 1999 ont occasionné aux assurances d'Europe occidentale – Suisse incluse – des coûts d'environ 8.4 milliards de dollars et ont causé 140 décès.

L'augmentation des dommages dus aux intempéries a différentes causes. Des tendances socio-économiques (croissance démographique et économique; implantation de zones d'habitation dans des régions à risques) et des facteurs environnementaux locaux (déboisement; constructions) sont les premiers responsables de l'augmentation des dommages potentiels.

Le risque à charge des clients et de l'Etat:

Une augmentation des catastrophes dues aux intempéries aurait des effets perceptibles pour les assurances contre les dégâts matériels et pour les sociétés de réassurance. Malgré une augmentation probable des cas de maladies et des décès, les secteurs des assurances vie et assurances maladie sont moins fortement touchés par les changements climatiques. Dans le secteur bancaire, les effets directs liés aux catastrophes naturelles ayant des causes météorologiques devraient être relativement faibles si le risque est suffisamment bien réparti.

Les assurances réagissent à l'augmentation des risques de dommages en augmentant primes et franchises, en abaissant la couverture ou en refusant le renouvellement de polices. Le risque est ainsi reporté sur les clients et l'Etat. Les primes de réassurance réagissent de façon semblable à l'augmentation du risque. Cela permet certes à la branche de maintenir un rapport convenable entre risques et revenus, mais dans une perspective économique globale, une telle stratégie est insuffisante. A plus long terme, la réduction éventuelle de la couverture par les assurances privées doit être comprise comme un signal appelant à prendre des mesures plus énergiques pour diminuer les risques (par exemple à réviser les règlements de construction) ou à se retirer des zones à risque.

Un défi pour la politique du développement:

Les pays en voie de développement sont plus fortement touchés par les catastrophes naturelles que les pays industrialisés, et la protection par les assurances y est insuffisante. Bien que 43% des dommages économiques dus aux catastrophes naturelles de 1985 à 1999 concernent les pays pauvres (revenu annuel inférieur à 9360 USD), 8% seulement des paiements d'assurances sont destinés à ces pays. En Afrique et en Asie, les assurances n'y couvrent que 4 à 7% des dommages dus aux intempéries, contre 27 à 30% en Europe et aux USA. Des catastrophes naturelles retardent souvent de plusieurs années, voire de plusieurs décennies, le processus de développement de ces pays. Aussi la perspective de catastrophes naturelles plus nombreuses est-elle aussi un défi pour la politique du développement et les organisations occidentales de développement.

2.6. Zones d'habitation, consommation d'énergie et tourisme

L'influence des changements climatiques sur l'espace vital humain devrait se traduire en Suisse avant tout par l'immigration des régions gravement concernées, l'interruption des approvisionnements et par des hausses des primes d'assurance. L'évolution de la consommation d'énergie suite aux changements climatiques est incertaine. Dans le secteur du tourisme, le premier touché sera le tourisme d'hiver.

Les zones habitées sont touchées indirectement:

En comparaison avec les régions côtières ou arides et semi-arides, la Suisse semble nettement moins menacée par les conséquences directes des changements climatiques – mis à part la fréquence plus élevée des tempêtes, des inondations dans les vallées fluviales et des glissements de terrain dans les Alpes et les Préalpes dus aux fortes précipitations et au recul du permafrost. Cependant, des effets indirects des changements climatiques pourraient peser beaucoup plus si, par exemple, l'approvisionnement en biens essentiels, tels que les combustibles et les denrées alimentaires, était interrompu temporairement en raison de difficultés de livraison et de transport sur le marché mondial. La pression de l'immigration en provenance de régions fortement touchées pourrait augmenter, la pression des coûts sur les propriétaires immobiliers pourrait s'accroître avec la hausse des primes d'assurances.

Evolution incertaine de la consommation d'énergie:

Les changements climatiques auront des effets sur la consommation d'énergie. Les besoins en énergie de chauffage devraient diminuer en hiver, ceux de la climatisation augmenter en été. En Europe, le besoin d'énergie a baissé de 2% pendant les hivers doux de 1988 à 1990. Une étude prévoit qu'une élévation de la température de 4.5°C en Europe septentrionale, ferait plus que doubler la consommation de cou-

rant pour la climatisation en été. Les besoins énergétiques de la Suisse seront déterminés à l'avenir aussi par l'ensemble des facteurs sociaux. Les effets d'un réchauffement sur la consommation d'énergie ne peuvent pas être estimés de façon fiable.

Le tourisme d'hiver est concerné:

Le tourisme d'hiver sera aussi touché par les changements climatiques. Selon une étude, une augmentation de la température de 3°C ferait monter la limite des neiges en hiver de 300 à 400 m, et il n'y aurait plus de couverture de neige continue au-dessous de 1200 m. Le raccourcissement de la saison ferait croître le besoin en neige artificielle et la demande d'activités touristiques de substitution. Il est vraisemblable que le tourisme d'hiver se déplacera vers d'autres destinations.

Interactions entre le tourisme et les changements climatiques

Il est bien connu qu'en matière de tourisme les facteurs naturels tels que le paysage, l'eau, la neige ou la météo jouent un rôle essentiel. Cela semble être la raison principale pour laquelle, dans le débat actuel sur le climat, le tourisme est souvent présenté comme étant l'un des premiers concernés par les processus climatiques. En effet, de nombreuses attractions et activités touristiques sont fortement dépendantes des conditions climatiques. Des changements climatiques se répercuteront donc nettement plus vite sur le tourisme que dans la vie de tous les jours. A cet égard, les aspects suivants figurent au premier plan:

L'élévation de la limite des chutes de neige: En Suisse, c'est la conséquence la plus souvent évoquée d'un possible changement du climat. Il se pourrait qu'à l'avenir, en gros 60% seulement des actuelles régions de ski soient assurées d'avoir de la neige, au lieu de 85% aujourd'hui. S'il est vrai qu'un avenir plus chaud n'affectera que faiblement le tourisme d'hiver dans les régions centrales des Alpes (Valais, Grisons), il faut s'attendre en revanche à ce que de nombreuses régions de ski des Préalpes soient menacées.

La fonte des glaciers: Le réchauffement pronostiqué devrait conduire à une fonte importante des glaciers alpins. Le tourisme d'été perdra ainsi un de ses principaux attraits. Les petits glaciers, situés à relativement faible altitude, devraient disparaître complètement, les plus grands reculeront fortement.

Le dégel du permafrost: Le permafrost stabilise les éboulis et les pierriers. Le dégel du permafrost augmente le risque de chute de pierres, de glissements de terrain et de coulées de boue. Comme nombre de fondations (pylônes et stations de transports de montagne, ouvrages de protection contre les avalanches) sont souvent ancrées dans des éboulis gelés, il devient de plus en plus urgent de reconstruire à grands frais ces fondations.

Le changement de la flore et de la faune: Les changements de la végétation ont aussi un impact sur le paysage. Comme le paysage, la flore et la faune sont des éléments très importants de l'offre touristique d'une part, et que, d'autre part, toute altération de leur fonction de protection suscite des craintes chez les touristes, il faut s'attendre à des effets sur le tourisme.

L'élévation du niveau des mers: Le tourisme balnéaire serait le premier touché par une élévation du niveau de la mer, due à la dilatation thermique. Maints endroits perdraient leur principal attrait pour le tourisme balnéaire dès lors que leurs plages de sable seraient submergées.

Cette énumération, qui n'est pas exhaustive, montre que les changements climatiques menacent les bases du tourisme. Mais présenter la branche touristique uniquement comme victime serait trop simple. Les données sur le tourisme en tant que moteur du changement climatique sont certes plutôt minces, mais il est bien connu que la mobilité est une condition primordiale du tourisme. Des études confirment que les transports destinés aux loisirs des Suisses représentent en gros 60% du volume total des transports de personnes. Les taux de croissance élevés dans les transports aériens et l'effet de renforcement de l'hydrogène et de l'oxyde d'azote aux altitudes élevées sont en voie de faire des transports aériens un facteur climatique de première importance. La maxime selon laquelle «le tourisme détruit le tourisme» a acquis une nouvelle dimension.

Prof. Hansruedi Müller

3. Stratégies d'atténuation des changements climatiques

Le troisième chapitre résume les éléments les plus importants pour la Suisse des données produites par le groupe de travail III dans le 3^e Rapport du GIEC sur l'état des connaissances (TAR). Le rapport du groupe de travail III aborde sur plus de 700 pages les aspects scientifiques, techniques, environnementaux, économiques et sociaux d'une atténuation des changements climatiques. Il n'est fait aucune évaluation des incertitudes.

Ce résumé porte sur les options techniques et biologiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre, sur les entraves et les imperfections du marché lors de la mise en œuvre de telles options, sur les mesures et instruments politiques ainsi que sur les coûts de la réduction. Les stratégies visant à atténuer les changements climatiques comprennent des mesures à l'échelon local, national et international. Les données de ce chapitre sont avant tout de nature générale.

3.1. Potentiel technique de réduction des émissions

Le potentiel technique et économique de réduction des émissions de gaz à effet de serre est suffisamment important pour stabiliser d'ici à 2020 les émissions annuelles et globales au niveau de celles de l'an 2000. Mais son exploitation est souvent difficile faute d'incitations économiques et de mesures de nature politique.

Dans les scénarios SRES (cf. chapitre 1.4), le progrès technique joue un rôle décisif dans l'évolution future des émissions de gaz à effet de serre. Des possibilités de réduire ces émissions dans les 10 à 20 prochaines années s'offrent notamment dans les domaines suivants:

Immeubles d'habitation et de services:

Le recours à des techniques de chauffage et de climatisation efficaces du point de vue énergétique, la planification intégrale des bâtiments, la diminution des pertes des appareils et installations en état de veille et la décentralisation de l'approvisionnement en énergie offrent des moyens de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Transport et mobilité:

Des nouvelles technologies, telles que les moteurs hybrides pour les véhicules circulant en ville, les piles à combustible et les biocarburants, offrent un grand potentiel dans le secteur de la mobilité. On pourrait par exemple améliorer le rendement des camions jusqu'à 60% par l'application combinée de nouvelles technologies. Des carburants bon marché, de même que l'augmentation du poids des véhicules et de la puissance des moteurs et la sous-occupation croissante des voitures individuelles vont à l'encontre de l'exploitation de ces potentiels.

Industrie:

La principale possibilité de réduire les émissions de gaz à effet de serre consiste à augmenter l'efficacité énergétique. Un potentiel appréciable réside dans les énergies de substitution à émissions faibles ou nulles. D'autres possibilités sont l'utilisation plus rationnelle des matériaux par une planification ciblée des produits, ainsi que le recyclage (revalorisation des matériaux) et l'utilisation en cascades (réutilisation d'un produit).

Gestion des déchets:

Il est possible de réduire les émissions de gaz à effet de serre dans le secteur des déchets en encourageant le recyclage, le compostage et la fermentation dans de petites installations, ainsi que les nouvelles technologies d'incinération. Des mesures de réduction dans le traitement des eaux usées sont par exemple la diminution des quantités d'eaux usées, le traitement des boues en l'absence d'oxygène et l'utilisation du méthane ainsi formé pour produire de la chaleur et de l'électricité.

Approvisionnement en énergie:

Dans la production d'électricité à partir d'énergie fossile, les potentiels de réduction se situent avant tout dans l'utilisation de turbines à gaz et à vapeur, du couplage chaleur-force et des piles à combustible. L'utilisation de l'énergie nucléaire se heurte à des questions de rentabilité, au scepticisme du public à l'égard de la sécurité des installations ainsi qu'au problème non résolu du stockage à long terme des déchets. Au chapitre des énergies renouvelables, l'hydroélectricité est toujours la technologie la plus développée. Parmi les techniques d'utilisation de la biomasse, la gazéification est proche du seuil de rentabilité. La production de méthanol à partir du bois est la seule voie rentable pour produire des carburants liquides. L'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque n'est concurrentielle que dans certains créneaux. Des investissements dans de grandes installations sont nécessaires pour abaisser les prix de production.

3.2. Réduction de la concentration de CO₂ au moyen de puits de carbone

Les activités humaines affectent la capacité globale des réservoirs de carbone que constituent les écosystèmes terrestres. Des mesures permettant de conserver ou agrandir de tels réservoirs peuvent contribuer à atténuer le changement climatique à court éventuellement moyen terme. La substitution de combustibles fossiles par de la biomasse neutre à l'égard du CO₂ diminue les émissions de CO₂.

Environ 120 GtC ont été rejetés jusqu'à aujourd'hui dans l'atmosphère par la transformation d'écosystèmes naturels en terrains agricoles. En Europe et aux USA, ce processus s'est entre-temps inversé: aujourd'hui, les écosystèmes y absorbent quelques pour cent du CO₂ émis par la combustion de combustibles fossiles et fonctionnent comme puits de carbone. Les raisons de cette inversion sont l'extension des surfaces de forêts dans ces deux régions et l'augmentation du volume annuel de bois produit, supérieur à la quantité récoltée. Sous les tropiques, par contre, les changements d'utilisation du sol conduisent à une émission nette de CO₂ dans l'atmosphère: environ 1.6 GtC par année pendant les années 90, ce qui représente à peu près 20% des émissions globales de gaz à effet de serre dues aux activités humaines. (cf. chapitre 2.3.)

Trois approches biologiques possibles:

Il y a trois approches biologiques pour réduire de façon ciblée l'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère: elles consistent (1) à protéger les réservoirs de carbone existants et à éviter d'émettre du CO₂, (2) à lier davantage de carbone dans la biomasse, et (3) à substituer de la biomasse (à bilan de CO₂ neutre) aux combustibles fossiles et aux produits impliquant une utilisation intensive d'énergie.

Potentiel technique pour la réduction des gaz à effet de serre en Suisse

Les analyses réalisées ces dernières années (par exemple les programmes «Energie 2000» et «SuisseEnergie» du Conseil fédéral et l'étude «CH50%» de l'Académie suisse des sciences techniques, ASST) sont une base solide pour évaluer le potentiel des réductions de gaz à effet de serre en Suisse. Des mesures côté demande pour améliorer l'efficacité des prestations énergétiques pourraient contribuer à ces réductions, de même que l'augmentation de l'efficacité tout au long de la chaîne des transformations d'énergie, la substitution entre supports énergétiques fossiles et le recours aux énergies primaires renouvelables.

Dans les ménages, les besoins en chauffage peuvent être réduits drastiquement par des dispositions au niveau des constructions (isolation, constructions adaptées au climat). Les rejets de CO₂ peuvent être réduits progressivement en recourant davantage au gaz naturel, au chauffage par pompe à chaleur et au chauffage à distance. La part des énergies renouvelables dans la production de chaleur a augmenté d'environ 2% dans la cadre d'«Energie 2000», augmentation fournie principalement par le bois et la biomasse dans les usines d'incinération des ordures. Dans l'hypothèse d'une hausse des prix de l'énergie, réduire globalement la consommation d'énergie fossile au-dessous de 50% jusqu'en 2040 est considéré comme possible («CH50%»). Pour l'industrie, l'énergie a toujours été un important facteur de coûts. Des mesures de réduction des coûts ont donc déjà été prises, aussi le potentiel de réduction est-il aussi plus faible. L'ASST considère néanmoins qu'un abaissement des émissions de gaz à effet de serre de 20% jusqu'en 2020 est réalisable à plus-value réelle croissante, avant tout par des gains d'efficacité à différentes étapes des processus. Dans les secteurs de l'artisanat, de l'agriculture et des services, les gains d'efficacité ont été compensés ces dernières années par la demande croissante en énergie, qui résulte notamment d'exigences de confort plus élevées et du développement de l'informatique. Le chauffage des bâtiments administratifs peut faire l'objet de mesures semblables à celles applicables dans le secteur privé; la production décentralisée d'électricité, au moyen de piles à combustible et du couplage force-chaleur, offre ici un grand potentiel. De plus, une large marge est laissée encore à l'innovation pour améliorer l'efficacité des appareils. Il apparaît techniquement possible de réduire de moitié la consommation de combustibles fossiles dans ce secteur d'ici 2020.

Le secteur des transports est responsable en Suisse d'environ 35% de la consommation de combustibles fossiles. L'optimisation de la consommation a toujours représenté un facteur économique dans le transport des marchandises et il semble difficile d'agir sur les transports aériens. Aussi est-ce dans le transport des personnes à la campagne que se situe le plus grand potentiel de réduction des gaz à effet de serre. Des mesures de réduction de la demande, telles que des modifications de la structure de l'habitat ou du comportement dans les déplacements pendant les loisirs, ne peuvent être envisagées de façon réaliste qu'à long terme. Le redimensionnement du partage entre modes de transport, consistant à transférer une partie du trafic des personnes et des marchandises de la route vers le rail, permet d'abaisser de façon significative la consommation de carburant. Mais ce sont les avancées techniques dans le secteur du trafic motorisé individuel qui fournissent la contribution la plus importante, en valeur absolue et en pourcent. Les innovations apportées aux véhicules (construction légère, aérodynamique, frottement des roues) réduisent le besoin en énergie mécanique. L'utilisation de moteurs fonctionnant au gaz naturel et de moteurs Diesel bénéficiant des techniques les plus modernes pour l'élimination des oxydes d'azote et des particules, permet de réduire les émissions de CO₂ de 15% environ par rapport à un moteur à essence équivalent.

Les changements du parc de véhicules se déroulent à l'échelle de la durée de vie moyenne des véhicules. La réduction draconienne de la consommation des véhicules neufs et la réalisation de moteurs à très faible émission sont donc la première priorité. A plus long terme, les piles à combustible deviendront intéressantes, surtout si elles font usage de carburants obtenus à partir d'énergies renouvelables. En résumé, l'étude «CH50%» arrive à la conclusion qu'en dépit de l'augmentation attendue jusqu'en 2020 de la demande en matière de transports, il existe un potentiel technique suffisant pour réduire de moitié la consommation d'énergie fossile dans le secteur des transports.

Prof. Alexander Wokaun

Le grand potentiel des forêts:

Parmi les écosystèmes terrestres, les forêts offrent le potentiel le plus important pour lier du carbone et éviter des émissions de CO₂. La protection des forêts et le reboisement peuvent apporter une contribution substantielle à la protection du climat. En outre, une meilleure gestion des forêts pourrait permettre de diminuer globalement les émissions de 0.17 GtC par année jusqu'en 2010, et de 0.7 GtC par année jusqu'en 2040. Cela correspondrait à environ 3% jusqu'en 2010, à environ 12% jusqu'en 2040, des émissions globales de gaz à effet de serre dues aux activités humaines à ce moment-là.

Les mesures de protection du climat dans le secteur forestier sont relativement bon marché. Les estimations de coûts pour des projets donnés se situent entre 1 et 7 USD/tC. De telles estimations ponctuelles ne sont toutefois pas appropriées pour procéder à des évaluations à plus large échelle. Des modèles tenant compte des coûts d'opportunité des mesures prises et des coûts marginaux croissants (cf. figure 11) dans le cas de projets de protection du climat à grande échelle, arrivent à des coûts de 20 à 100 USD/tC. Les projets de protection de la forêt sont liés d'autre part à des bénéfices secondaires (par exemple protection de la biodiversité, régulation du régime des eaux, protection du sol, protection contre les avalanches et les coulées de boue).

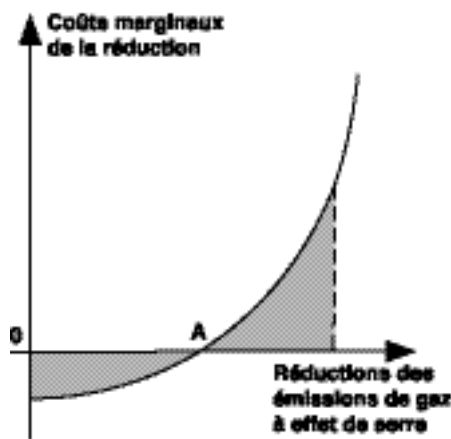


Figure 11: Coûts marginaux de la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Le coût total est donné par la surface sous la courbe. Tant que l'ensemble des réductions est plus petit que A, les coûts marginaux sont négatifs, par exemple car on réduit des gaspillages énergétiques. Dans ce cas, avec une réduction supplémentaire, on réalise un gain. Si l'ensemble des réductions est plus grand que A, les coûts marginaux deviennent positifs et une réduction supplémentaire n'a plus de justification économique.

3.3. Obstacles et imperfections du marché

Les imperfections du marché et d'autres obstacles freinent l'utilisation à plus grande échelle de technologies et procédés innovants. Toutefois, ces entraves peuvent être en partie éliminées par une politique et des mesures adéquates.

L'utilisation à plus grande échelle de technologies et de procédés permettant de réduire les émissions de gaz à effet de serre est souvent entravée par différents obstacles et imperfections du marché, qui sont le plus souvent spécifiques à des pays ou à des secteurs. Ces entraves tiennent notamment à une innovation technologique insuffisante, faute de mesures d'incitation, à des distorsions de prix sur le marché et à l'absence de marchés pour des biens relatifs à l'environnement (tels que les certi-

ficats d'émissions de CO₂), aux barrières commerciales, à des conditions cadres institutionnelles inefficaces, aux carences de l'information et à des normes de comportement socioculturel. Des entraves importantes dans les pays industrialisés sont le style de vie moderne, lequel produit beaucoup de CO₂, les modèles de consommation faisant un usage intense des ressources, les structures sociales, les coûts fixes élevés des infrastructures de l'énergie et des transports et de fausses incitations (par exemple subventions à l'énergie).

Ces obstacles peuvent être surmontés au moins en partie par des choix politiques, des programmes et d'autres mesures, afin de réduire ou de combler le fossé entre les potentiels du marché des technologies et procédés d'une part, et le potentiel économique, socio-économique et technique d'autre part.

3.4. Instruments et mesures

De nombreuses options politiques se présentent pour réduire les gaz à effet de serre. Elles ont toutes leurs points forts et leurs points faibles. Une large palette de mesures permet de mener la politique du climat au succès. Les mesures et les stratégies politiques devraient être harmonisées au niveau international.

Mesures de politique du climat au niveau des pays:

Les pays disposent d'une large palette de mesures et instruments, auxquels ils peuvent recourir pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Ce sont notamment les redevances incitatives sur les émissions et/ou l'énergie, les certificats d'émission négociables, les subventions, les normes relatives aux produits et aux procédés techniques, l'interdiction de substances et de produits, les accords et engagements volontaires et les programmes d'information et de formation. Des critères importants pour juger de ces instruments sont l'efficacité écologique, l'efficacité en termes de coûts, les possibilités de mise en œuvre au niveau politique, le travail administratif requis, les impacts économiques et les retombées sur l'innovation et le changement technologique.

Les redevances, les certificats d'émission négociables et les subventions sont des instruments dits d'économie de marché. Ils sont souvent plus efficaces en termes de coût que d'autres mesures. Les redevances incitatives et les certificats d'émission négociables sont préférés aux subventions, car ces dernières sont souvent distribuées aussi là où on n'en a pas vraiment besoin. Sans harmonisation internationale, les instruments d'économie de marché peuvent conduire à court terme à une dégradation de la compétitivité économique d'un pays.

Les normes et prescriptions sont efficaces et souvent les premières mesures prises lorsqu'une nouvelle situation se présente nécessitant d'intervenir au niveau de la politique environnementale. Les accords et engagements volontaires sont des instruments relativement nouveaux. Leur efficacité en termes de coûts et leur efficacité sont encore peu étudiées. Les programmes d'information et de formation, les labels notamment, gagnent en importance, contribuent à compenser les dysfonctionnements du marché et à surmonter les barrières de l'information, et favorisent la prise de conscience et les changements de comportement des différents acteurs.

Combinaison de différentes mesures:

Le recours à une palette suffisamment large d'instruments permet de surmonter à la fois des anomalies du marché et d'autres entraves. Le mix optimal ne peut pas être déterminé de façon rigoureusement scientifique, parce que les conditions propres aux différents acteurs ne sont pas entièrement analysables. Dans nombre de

cas, une combinaison d'instruments d'économie de marché, de normes et de programmes d'information (complétée, si cela est accepté au niveau politique, par une subvention incitative, par exemple pour les énergies renouvelables) conduit à une solution satisfaisante aux niveaux écologique et économique. Des accords volontaires peuvent compléter une telle stratégie ou la précéder. Pour optimiser le coût de la réduction des gaz à effet de serre, des redevances incitatives ou des certificats négociables sont souvent une bonne solution en tant que conditions cadres générales permettant d'augmenter les potentiels économiques et d'intégrer les coûts externes dans les prix.

En accord avec d'autres domaines politiques:

D'autres domaines politiques (par exemple la politique des finances, des transports, de l'habitat et de la technologie) et certaines tendances politiques du moment (la libéralisation des marchés de l'énergie et le débat politique sur l'avenir de la globalisation économique) peuvent peser sur l'évolution des émissions de gaz à effet de serre de façon positive et/ou négative. Inversement, des mesures de politique du climat ont des effets rétroactifs sur d'autres domaines politiques. De plus en plus, études et simulations font état d'un grand potentiel de synergies entre la protection de l'environnement et la fiscalité. Un lien entre ces deux domaines, par exemple dans le cadre d'une réforme fiscale écologique, peut améliorer simultanément l'efficacité de la protection du climat et du système fiscal, si par exemple les recettes sont utilisées pour diminuer des impôts constituant un frein à la croissance (double dividende).

Mécanismes flexibles internationaux:

Les mesures et les stratégies politiques devraient être adaptées et harmonisées à l'échelon international pour en améliorer l'efficacité, en même temps que d'en abaisser les coûts et éviter des distorsions de la concurrence, des conflits commerciaux et des transferts indésirables des émissions. Des instruments importants en vue d'une telle harmonisation sont les mécanismes de flexibilité du Protocole de Kyoto, tels que les projets internationaux de protection du climat (Joint Implementation [JI], Clean Development Mechanism [CDM]) et le marché des certificats d'émission (International Emission Trading [IET]). Ces instruments peuvent conduire à un réajustement global des coûts marginaux (cf. figure 11) d'évitement des gaz à effet de serre et à abaisser ainsi substantiellement les coûts mondiaux de la réduction de ces gaz. Pour que le potentiel de diminution des coûts des instruments internationaux puisse être exploité, chaque état doit intégrer les mécanismes flexibles du Protocole de Kyoto à sa politique nationale du climat et permettre aux acteurs de l'économie d'accéder à ces instruments et marchés.

Des mécanismes flexibles efficaces et crédibles impliquent des règles aisées à appliquer et à contrôler et des modalités qui empêchent les abus, garantissent l'intégrité écologique et évitent une bureaucratie inutile. A part les mécanismes flexibles, la mise au point de technologies favorables à l'environnement et le transfert de savoir-faire vers les pays en voie de développement sont les éléments les plus importants d'une stratégie globale de protection du climat.

Potentiel économique d'une politique climatique

Il n'est pas rare qu'une politique en matière de climat induise des dépenses supplémentaires et de nouvelles charges pour l'économie nationale. Or au vu de l'ensemble des changements économiques induits par la politique du climat, s'attendre à des dépenses supplémentaires pourrait bien s'avérer une estimation erronée.

- Il existe de nombreux moyens rentables d'utilisation efficace de l'énergie qui ne sont pas exploités - en Suisse non plus - à cause de différents obstacles et anomalies du marché. Ce potentiel inexploité est évalué à plusieurs centaines de millions de CHF par année.
- Mieux utiliser l'énergie, c'est aussi en réduire les importations (qui se montent actuellement à environ 4 milliards de CHF) et induire une augmentation de la production de biens industriels et des prestations dans les secteurs du bâtiment et des services, donc des emplois supplémentaires, également dans les cantons de montagne et les régions rurales.
- Augmenter l'efficacité énergétique et recourir aux technologies renouvelables, c'est accroître aussi le savoir-faire des producteurs suisses de technologie et des fournisseurs de services afférents dont le chiffre d'affaire à l'exportation s'élevait en gros à 1.5 milliards CHF en 1999 et qui pourrait plus que tripler d'ici 10 ans moyennant une position favorable en terme de compétitivité (first mover).
- L'exportation intensive, par les pays industrialisés, de biens et services ménageant les ressources accélère le processus de protection de l'environnement et du climat dans les pays en voie de développement et en voie d'industrialisation, et ralentit ainsi l'augmentation de leurs émissions de gaz à effet de serre, ainsi que leurs coûts externes par la réduction des émissions de polluants atmosphériques conventionnels.
- Un frein à l'augmentation globale des émissions de gaz à effet de serre et leur plafonnement à l'échelle mondiale dans un délai de 20 ans, atténueraient les changements climatiques et permettraient de réduire certains investissements d'adaptation - comme par exemple en Suisse les investissements pour la protection contre les avalanches, les coulées de boue et les crues, et les investissements nécessaires à la restructuration des régions de tourisme d'hiver -, de consommer moins de capital et de moins augmenter les primes d'assurances pour les catastrophes naturelles.

Dans son résumé, le groupe de travail III suppose que le bilan se solderait par un bénéfice substantiel en faveur de l'économie nationale.

Prof. Eberhard Jochem

3.5. Coûts de l'atténuation des changements climatiques

Les coûts des mesures d'atténuation des changements climatiques jouent un rôle central en définissant les objectifs à atteindre et en déterminant l'efficacité économique de la politique du climat. La flexibilité peut réduire les coûts de réduction pour les gaz à effet de serre d'une manière déterminante. Les coûts dépendent fortement de la possibilité de négocier les certificats d'émissions au niveau international

Les particularités des différents pays influencent les coûts:

A conditions égales, les coûts sont plus élevés pour les pays moins dépendants des combustibles fossiles. Par exemple, une économie qui repose déjà fortement sur l'énergie hydroélectrique et nucléaire (comme en Suisse) a moins de possibilités de remplacer ces supports énergétiques par des énergies émettant moins de CO₂.

Les coûts varient en fonction des objectifs:

Des études concernant différentes régions de l'OCDE chiffrent les coûts pour atteindre les objectifs de Kyoto entre 0.2 et 2% (la majorité de ces études à moins de 1%) du produit intérieur brut (PIB) en 2010, ce qui fait, réparti sur une période de 10 à 12 ans, environ 0.02 à 0.2% par année. A titre de comparaison, dans la plupart des pays développés, les dépenses annuelles pour l'environnement représentent

1 à 2% du PIB. Les coûts pour stabiliser la concentration du CO₂ dans l'atmosphère à 450 ppm sont plus élevés que pour une stabilisation à 750 ppm, et augmentent fortement entre 550 à 450 ppm.

Certains instruments diminuent les coûts:

Les coûts de la politique climatique peuvent être encore réduits, voire même annulés, si on exploite les opportunités offertes par les politiques «sans regrets» (des mesures rentables en soi, comme par exemple la suppression des subventions aux combustibles fossiles, mais auxquelles on ne recourt guère en raison de dysfonctionnements du marché et de barrières en matière d'information), l'inclusion des bénéfices additionnels («secondaires») résultant notamment de la réduction d'atteintes à la santé, suite à la diminution de la pollution locale associée aux combustibles fossiles, cf. chapitre 2.4), le double dividende des instruments impliquant des recettes fiscales (par exemple en utilisant les recettes des redevances incitatives pour diminuer des impôts responsables de distorsions importantes), l'utilisation des mécanismes flexibles internationaux (JI, CDM et IET). Les études confirment que, si mis en œuvre correctement (par exemple en utilisant les recettes fiscales pour réduire les charges salariales), les instruments s'appuyant sur des recettes fiscales sont les plus efficaces pour minimiser les coûts.

Les systèmes fiscaux et énergétiques influencent les coûts:

Il n'y a pas de corrélation entre le niveau d'une taxe sur le CO₂, visant à atteindre une réduction donnée des émissions, et son effet sur la croissance du PIB. En général, les taxes sur le CO₂ sont les plus élevées dans les pays européens de l'OCDE et au Japon, tandis que les pertes en termes de croissance du PIB sont plus importantes aux Etats-Unis et dans les autres pays de l'OCDE. L'absence d'une corrélation peut s'expliquer par les structures existantes du système fiscal et énergétique de ces pays et par des particularités économiques structurelles différentes.

En raison de la part relativement élevée des dépenses énergétiques dans les ménages à faible revenu, les effets d'une taxe sur le CO₂ sont proportionnellement plus importants pour les bas revenus. Cet effet indésirable peut être compensé entièrement ou partiellement par une rétrocession de recettes fiscales à cette tranche de la population.

La flexibilité abaisse les coûts:

Plus la flexibilité est grande, plus les coûts sont faibles et réciproquement. La flexibilité est donnée par les mécanismes flexibles (JI, CDM et IET) du Protocole de Kyoto, la prise en compte des puits de CO₂ et de gaz à effet de serre autres que le CO₂, et par une période d'engagement de 5 ans (au lieu d'une année seulement). Les modèles tendent cependant à surestimer le potentiel d'économies des mesures flexibles, parce qu'ils ne tiennent pas compte des coûts des transactions, de mise en œuvre et des contrôles.

La possibilité de négocier les droits d'émission au niveau international peut abaisser les coûts de réduction des gaz à effet de serre. Toutes les études, tant au niveau macro-économique que sectoriel, montrent que lorsque la taille du marché des certificats augmente, des économies substantielles sont réalisables. Pour le marché limité aux pays de l'annexe B du Protocole de Kyoto, les coûts pour atteindre les objectifs de Kyoto représentent, pour une décennie, une perte de croissance du PIB inférieure à 1%. Des coûts marginaux nationaux, pouvant atteindre 600 USD/tC en absence d'un marché des certificats d'émission, tombent à 150 USD/tC grâce à ce marché. Des études confirment ce résultat, y compris pour la Suisse. Des limitations du marché international ou les problèmes concrets de mise en œuvre peuvent cependant réduire l'efficacité économique de ces mesures.

Les coûts et bénéfices des mesures de politique du climat dépendent avant tout du nombre des d'états partenaires des accords internationaux ainsi que du niveau des engagements pris pour limiter les émissions de gaz à effet de serre. Il peut être judicieux du point de vue de la politique du climat de commencer par des accords internationaux sous la forme de coalitions partielles, puis de les étendre à d'autres pays par le biais d'incitations appropriées.

Gagnants et perdants:

Les gagnants attendus des stratégies d'atténuation des changements climatiques sont notamment les secteurs des ressources renouvelables (hydroélectricité incluse), des services, de l'agriculture et des technologies réduisant les émissions. Les perdants attendus sont les industries du charbon et peut-être du pétrole, mais aussi les secteurs gros consommateurs d'énergie, comme la chimie lourde et la sidérurgie. Les pertes se traduisent par une diminution du taux de croissance des secteurs impliqués. Mais de nombreuses études tendent à surestimer les coûts, car elles négligent souvent des facteurs qui peuvent diminuer les effets négatifs sur les secteurs concernés. Cependant, si on choisit de réduire les impacts en concédant des exemptions aux industries grosses consommatrices de combustibles organiques, les coûts pour les autres secteurs et le coût global seront beaucoup plus élevés.

Bibliographie

IPCC, 2000. *Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

IPCC, 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

IPCC, 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

IPCC, 2001. *Climate Change 2001: Mitigation*. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

IPCC, 2002. *Climate Change 2001: Synthesis Report*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

Le rapport *Climate Change 2001* est disponible sur le web à l'adresse:
www.ipcc.ch/pub/tar

Glossaire

acteurs	Individus, groupes, organisations etc. agissant au plan politique et/ou économique.
activité solaire	Le soleil présente différentes périodes d'activité, qui se manifestent par le nombre de taches solaires, l'intensité de rayonnement du soleil, l'activité magnétique et l'émission de particules de haute énergie. Ces variations se déroulent à des échelles de temps qui vont des minutes à des millions d'années. Le plus connu est le cycle de 11 ans de l'activité solaire: un maximum d'activité survient environ tous les 11 ans.
aérosols	Minuscules particules en suspension dans l'air (grandeur caractéristique: 0.01 à 10 µm. Les aérosols peuvent être d'origine naturelle (p. ex. volcanique) ou humaine (p. ex. combustions).
application conjointe	L'application conjointe (Joint Implementation – JI) est l'un des trois mécanismes de flexibilité du Protocole de Kyoto (voir <i>mécanismes de flexibilité</i>). Conformément à l'annexe B du Protocole de Kyoto, elle permet à des pays industrialisés ou à des entreprises de ces pays de réaliser, avec d'autres pays industrialisés, des projets visant à diminuer les émissions ou à développer les puits et de partager les réductions d'émission ainsi obtenues.
aride / semi-aride	Climat sec, caractérisé par une pluviosité annuelle inférieure à l'évaporation annuelle. Dans les régions semi-arides, la pluviosité est supérieure à l'évaporation pendant trois à cinq mois.
atmosphère	Enveloppe gazeuse de la terre. L'atmosphère sèche est composée principalement d'azote (78.1% du volume), d'oxygène (20.9% du volume), et de traces de gaz tels que l'argon (0.93% du volume), le dioxyde de carbone (0.035% du volume) et l'hélium (0.0005% du volume). L'atmosphère contient en outre de la vapeur d'eau, le plus important des gaz à effet de serre, dont la quantité varie fortement selon les régions, mais est typiquement de l'ordre de 1% du volume.
bénéfices secondaires	Effets additionnels positifs de mesures visant à atténuer les changements climatiques. Les stratégies de protection du climat ont un effet non seulement sur les émissions de gaz à effet de serre, mais aussi sur l'efficacité de l'utilisation des ressources et dans des domaines sensibles, tels que la santé, l'emploi, les transports, l'agriculture, les pratiques d'utilisation des sols et la sécurité des combustibles.
bilan radiatif	Budget de l'énergie rayonnante de la terre, incluant le rayonnement solaire incident de courtes longueurs d'onde et le rayonnement de grandes longueurs d'onde renvoyé et absorbé par la surface de la terre, les nuages, les aérosols et les gaz à effet de serre.
biocarburants	Carburants tirés de matières premières renouvelables, p. ex. de l'huile de colza ou du bois. Contrairement aux carburants fossiles, les biocarburants utilisés selon des critères de durabilité ont un bilan de CO ₂ neutre à la combustion. La quantité de CO ₂ libérée lors de la combustion est liée de nouveau lors du renouvellement (de la croissance) de la matière première.
biosphère	Partie du système terrestre qui comprend tous les écosystèmes et organismes vivants dans l'atmosphère, sur terre et dans les mers, y compris le matériel organique (végétal) mort sur terre et dans l'eau.
Clean Development Mechanism (CDM)	Voir <i>mécanisme de développement propre</i> .
CH ₄	Voir <i>méthane</i> .
changements climatiques	Dans le rapport du GIEC, cette notion désigne les changements climatique au cours du temps, qu'ils résultent de fluctuations naturelles ou d'activités humaines.
changement d'utilisation des sols	Un changement de l'utilisation ou de l'exploitation des sols peut entraîner des changements de la couverture végétale. Cela peut avoir des effets sur

	l'albédo (fraction du rayonnement solaire réfléchi à la surface) de la terre, sur le taux d'évaporation de l'eau et sur la capacité de stockage de carbone, ou encore sur d'autres composantes importantes du système climatique.
climat	Le climat est défini d'ordinaire comme le «temps moyen» au sens météorologique, ou plus exactement comme la description statistique des valeurs moyennes et des domaines de fluctuations de grandeurs climatologiques, telles que la température, les précipitations et le vent, enregistrées sur une longue période. Selon la définition de l'Organisation météorologique mondiale (OMM), la durée classique de cette période est de trois décennies.
CO ₂	Voir <i>dioxyde de carbone</i> .
combustibles fossiles	Combustibles provenant de gisements de carbone non renouvelables. Les combustibles fossiles sont le charbon, le pétrole et le gaz naturel.
coulée de boue	Avalanche de terre, eau et constituants solides (p. ex. éboulis, pierres, bois), qui se déclenche sur des pentes raides à la suite de précipitations abondantes ou violentes.
coûts externes	Coûts qui ne sont pas inclus dans les prix du marché des biens ou des services (p. ex. atteintes à la santé, à la végétation et aux bâtiments). Ils ne sont pas supportés par celles et ceux qui en sont la cause, mais sont à la charge de la communauté.
coûts d'opportunité	Coûts découlant d'une situation dans laquelle les moyens financiers manquent dans un certain domaine (p. ex. la formation) parce qu'on investit beaucoup dans un autre domaine, considéré momentanément comme plus urgent (p. ex. l'armement).
dengue	Maladie virale transmise par des moustiques, provoquant entre autres de violentes douleurs des articulations et de dos. Des infections secondaires suscitées par le virus peuvent conduire à la fièvre hémorragique de dengue et à un syndrome de choc, qui peuvent être mortels. La dengue est répandue dans les régions tropicales et subtropicales. En Europe et aux États-Unis, la dengue est diagnostiquée parfois chez des personnes ayant voyagé dans des pays lointains.
dilatation thermique	Augmentation du volume (diminution de la densité) de l'eau due à un réchauffement.
dioxyde de carbone (CO ₂)	Gaz présent dans la nature, qui se forme entre autres lors de la combustion de matériaux renfermant du carbone. C'est le plus important des gaz à effet de serre produit par l'homme, celui qui influence le plus fortement le bilan radiatif de la terre. Le dioxyde de carbone est l'un des six gaz à effet de serre dont le Protocole de Kyoto demande la réduction.
double dividende	Certains instruments de protection du climat sont basés sur des redevances. On parle de double dividende lorsque de tels instruments permettent d'une part de limiter ou abaisser les émissions de gaz à effet de serre, et d'autre part lorsque d'éventuelles pertes en termes de prospérité et de bien-être peuvent être compensées au moins en partie en utilisant le revenu des redevances pour diminuer des impôts.
écosystème	Système d'organismes vivants qui s'influencent mutuellement et de leur environnement physique, sur terre ou dans l'eau. Il y a différentes manières d'en définir les limites, aussi l'extension d'un écosystème peut-elle aller de très petite à planétaire.
effet de serre	Les gaz à effet de serre (dont la vapeur d'eau) et les nuages laissent passer une partie du rayonnement solaire incident de courtes longueurs d'onde et absorbent et diffusent le rayonnement de grandes longueurs d'onde (infrarouge) réfléchi par la surface de la terre et les nuages. De la chaleur est ainsi piégée dans le système surface de la terre - troposphère. Cet effet de serre «naturel» rend possible la vie sur terre. En raison de l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre depuis le début de l'ère industrielle, l'atmosphère devient moins transparente pour les rayons infrarouges. Cet effet de serre «additionnel» conduit à un réchauffement de la troposphère.

entraves	Obstacle à l'exploitation d'un potentiel (p. ex. le potentiel de nouvelles technologiques). Il est possible de s'affranchir d'une entrave en recourant à une stratégie, un programme ou une mesure politique.
événement extrême	Événement rare. Un «événement météorologique extrême» est un événement météorologique rare dans l'endroit où il survient. Un «événement climatique extrême» est une moyenne rare d'événements météorologiques sur un intervalle de temps donné (p. ex. la pluviosité saisonnière). Etant donné l'importance que l'homme accorde aux aspects socio-économiques, les événements extrêmes sont perçus le plus souvent comme des événements causant de gros dommages.
gaz à effet de serre	Constituants gazeux de l'atmosphère, qui absorbent le rayonnement de grandes longueurs d'onde (infrarouge) provenant de la surface de la terre, de l'atmosphère et des nuages et émettent à leur tour du rayonnement infrarouge dans toutes les directions. Il en résulte un réchauffement de l'atmosphère. Les principaux gaz à effet de serre dans l'atmosphère terrestre sont la vapeur d'eau (H ₂ O), le dioxyde de carbone (CO ₂), le protoxyde d'azote (N ₂ O), le méthane (CH ₄) et l'ozone (O ₃). Des activités humaines augmentent leurs concentrations. Certains gaz à effet de serre sont produits principalement par l'homme, comme les PFC, les HFC et le SF ₆ .
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC). Le GIEC a été fondé en 1988 par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) reconnaissant que le changement climatique peut conduire à des problèmes globaux. Le but de cet organe est de rassembler, évaluer et publier sous forme de rapports des informations scientifiques, techniques et socio-économiques en vue d'une meilleure compréhension des risques du changement climatique provoqué par l'homme. Ces rapports, auxquels environ 2500 scientifiques reconnus travaillent dans le monde, servent en premier lieu de base de décision aux décideurs politiques.
GtC	Gigatonne de carbone. 1 GtC = 10 ¹² kg de carbone = 3.67 10 ¹² kg CO ₂ .
HFC	Les hydrofluorocarbures font partie des six gaz à effet de serre dont le Protocole de Kyoto demande la réduction. Les HFC ont un grand potentiel d'effet de serre. Ils sont utilisés avant tout comme réfrigérants.
International Emission Trading (IET)	Voir <i>marché des certificats d'émission</i> .
inversion de température	Voir <i>situation d'inversion</i> .
IPCC	Voir <i>GIEC</i> .
Joint Implementation (JI)	voir <i>application conjointe</i> .
leishmaniose	Maladie provoquée par la piqûre de phlébotomes (diptères). Elle peut se manifester extérieurement (leishmaniose cutanée) des semaines ou des mois après l'infection par de plaies sur la peau (ouvertes ou fermées), ou intérieurement (leishmaniose viscérale) des mois ou années après infection, par de la fièvre, un grossissement de la rate et du foie et une anémie. La leishmaniose est répandue dans les zones climatiques tropicales et subtropicales, y compris dans les pays méditerranéens (p. ex. l'Italie, l'Espagne et le Portugal).
malaria	Maladie transmise par une espèce de moustique, qui sévit avant tout dans des régions chaudes, provoque de forts accès de fièvre et perturbe l'organisme. Chaque année, quelque deux millions d'êtres humains meurent de la malaria.
marché des certificats d'émission	Des réductions d'émissions peuvent être négociées sous la forme de certificats d'émission et vendues à des pays. Cette forme de commerce peut se dérouler à l'intérieur d'une entreprise ou d'un pays ou entre les pays. Le marché international des certificats d'émission (International Emission Trading – IET) est l'un des trois mécanismes de flexibilité du Protocole de Kyoto (voir <i>mécanismes de flexibilité</i>).

mécanisme de développement propre (CDM)	Le CDM (Clean Development Mechanism) est l'un des trois mécanismes de flexibilité du Protocole de Kyoto (voir <i>mécanismes de flexibilité</i>) et permet à des pays industrialisés et en voie de développement de réaliser ensemble des projets de protection du climat dans des pays en voie de développement. Le projet (p. ex. la construction d'une centrale éolienne) est financé par le pays industrialisé, lequel peut alors inclure dans son bilan de gaz à effet de serre les émissions ainsi évitées dans le pays en voie de développement. Une partie du transfert financier effectué lors de projets CDM est versée dans un fonds en faveur des Etats les plus fortement touchés par le changement climatique.
mécanismes de flexibilité	Les trois mécanismes de flexibilité du Protocole de Kyoto sont le mécanisme de développement propre (Clean Development Mechanism – CDM), le marché international des certificats d'émission (International Emission Trading – IET) et l'application conjointe (Joint Implementation – JI). L'idée de base de ces trois instruments consiste à améliorer le rapport coût:efficacité des mesures de politique climatique en procédant aux réductions d'émission là où elles sont le moins cher.
méthane (CH ₄)	Gaz à effet de serre, dont le rejet dans l'atmosphère se produit entre autres dans des régions marécageuses ou lors d'activités agricoles (culture du riz et élevage du bétail).
N ₂ O	Voir <i>protoxyde d'azote</i> .
O ₃	Voir <i>ozone</i> .
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques.
ozone (O ₃)	Molécule composée de trois atomes d'oxygène. Dans la troposphère, l'ozone se forme aussi bien naturellement que par intervention de gaz d'origine humaine. A concentration élevée, l'ozone troposphérique peut être nocif pour de nombreux organismes (p. ex. pour l'homme). L'ozone troposphérique est un gaz à effet de serre. Dans la stratosphère, l'ozone se forme par l'action du rayonnement ultraviolet du soleil sur l'oxygène moléculaire (O ₂). L'ozone stratosphérique joue un rôle décisif dans le bilan radiatif de la terre. La destruction de l'ozone stratosphérique, conséquence de réactions chimiques que les changements climatiques peuvent encore favoriser, conduit à une augmentation du rayonnement ultraviolet (UV-B) au sol.
période de végétation	Période de l'année pendant laquelle la croissance des végétaux est possible. Sa longueur dépend avant tout de la température, mais aussi de la pluviosité et de la couverture de neige. En Europe centrale, la période de végétation dure d'avril à début octobre.
permafrost	Pergélisol. Domaine du sous-sol dont la température est toute l'année inférieure à 0°C et qui contient en général beaucoup de glace.
PFC	Les hydrocarbures perfluorés (p. ex. CF ₄ et C ₂ F ₆) sont des gaz à effet de serre, dont le Protocole de Kyoto demande la réduction. Les PFC sont très persistants et ont un grand potentiel d'effet de serre. Ils se forment avant tout lors de la production d'aluminium et de semi-conducteurs.
pile à combustible	Dans une pile à combustible, de l'hydrogène et de l'oxygène sont transformés en énergie électrique et en chaleur.
ppm, ppb	Rapport entre le nombre de particules d'un composant (p. ex. un gaz à effet de serre) et le nombre de particules de tous les constituants à l'intérieur d'un volume donné. ppm, parts per million: parties par million. ppb, parts per billion: parties par milliard.
Protocole de Kyoto	Le Protocole de Kyoto a été adopté en 1997 à la troisième Conférence des parties (COP – Conference of the Parties) de la convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (UNFCCC) à Kyoto, Japon. Les pays mentionnés dans l'annexe B du Protocole (la plupart des Etats de l'OCDE et des pays en train de passer de l'économie planifiée à l'économie de marché) ont convenu de réduire les émissions des princi-

	paux gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC et SF₆) d'au moins 5% par rapport à l'état de 1999 au cours de la période d'engagement de 2008 à 2012. Le Protocole de Kyoto entrera en vigueur dès qu'au moins 55% des Etats l'auront ratifié, totalisant au moins 55% des émissions de gaz à effet de serre des pays industrialisés en 1990.
protoxyde d'azote (N ₂ O)	Le protoxyde d'azote ou gaz hilarant est l'un des six gaz à effet de serre dont le Protocole de Kyoto demande la réduction.
puits	Processus, activités ou mécanismes qui extraient de l'atmosphère un gaz à effet de serre, un aérosol ou leurs précurseurs. Des forêts en train de croître et d'autres surfaces de végétation peu exploitées ainsi que les océans peuvent soutirer du CO ₂ de l'atmosphère en liant du carbone. Certains puits peuvent par exemple être agrandis par un ralentissement du défrichement ou par le reboisement ou être conservés comme réservoir de carbone.
rapports du GIEC sur l'état des connaissances	Le GIEC publie environ tous les 5 ans un rapport de grande envergure. Le premier de ces rapports (First Assessment Report) parut en 1990, le second (SAR – Second Assessment Report) en 1996 et le troisième (TAR – Third Assessment Report) en 2001.
réassurance	Assurance qui couvre le risque de la branche des assurances: une assurance pour les assurances.
redevance incitative	Redevance (impôt) sur un produit, pour en limiter l'utilisation.
SAR	2 ^{me} rapport du GIEC sur l'état des connaissances (voir <i>rapports du GIEC sur l'état des connaissances</i>).
scénario (général)	Description plausible et souvent simplifiée de la manière dont certains paramètres pourraient évoluer dans le futur. Un scénario est basé sur un ensemble cohérent d'hypothèses sur la dynamique du système considéré et ses interactions. Voir aussi <i>scénario climatique</i> et <i>scénario d'émission</i> .
scénario climatique	Description plausible et souvent simplifiée du climat futur, basée sur un ensemble cohérent de données climatologiques. Cet ensemble est construit spécialement dans le but d'étudier les conséquences possibles de changements climatiques provoqués par l'homme. Un scénario climatique sert souvent de base à des modèles sur les effets des changements climatiques.
scénario d'émission	Description plausible de l'évolution future des émissions de substances, basée sur des hypothèses relatives à la dynamique du système considéré et de ses interactions (p. ex. l'évolution démographique et les changements socio-économiques ou la mutation technologique).
scénarios SRES	40 scénarios du rapport spécial du GIEC sur les scénarios d'émission (Special Report on Emission Scenarios, SRES) qui ont été utilisés comme base pour les évaluations de l'évolution climatique.
SF ₆	L'hexafluorure de soufre est l'un des six gaz à effet de serre dont le Protocole de Kyoto demande la réduction. Il est produit avant tout par l'homme et utilisé comme gaz isolant et réfrigérant. Le SF ₆ est persistant (3200 ans) et a le potentiel d'effet de serre le plus important de tous les gaz connus.
situation d'inversion	D'ordinaire, la température de l'atmosphère diminue avec l'altitude. Pendant une situation d'inversion, des masses d'air chaud viennent se placer au-dessus de masses d'air froid. La température proche du sol est alors plus froide qu'en altitude.
stratosphère	Couche de l'atmosphère au-dessus de la troposphère s'étendant entre 10 et 50 km d'altitude environ.
TAR	3 ^e rapport du GIEC sur l'état des connaissances (voir <i>rapports du GIEC sur l'état des connaissances</i>).
troposphère	Couche inférieure de l'atmosphère. Son épaisseur est d'environ 10 km (9 km aux latitudes hautes et 16 km sous les Tropiques). C'est dans la troposphère que se déroulent les phénomènes météorologiques. La température diminue d'ordinaire avec l'altitude.

USD/tC	Dollars US par tonne de carbone.
UV-B	Rayonnement ultraviolet. Rayonnement solaire de courtes longueurs d'onde, absorbé en majeure partie par l'ozone stratosphérique. Suite à la raréfaction de la couche d'ozone dans l'atmosphère, le rayonnement UV-B incident augmente à la surface de la terre, ce qui a des effets négatifs sur la santé de nombreux organismes vivants, humains compris.
véhicule hybride	Véhicule dont le système de traction recourt à au moins deux types de sources d'énergie. Le plus souvent, un moteur à combustion est couplé à une traction électrique.
Wm ⁻²	Watt par mètre carré. Unité de mesure du flux d'énergie (p. ex. bilan radiatif de la terre).
zones climatiques	Dans les grandes lignes, le climat de la terre peut être divisé en zones en forme de ceintures s'échelonnant de l'équateur aux pôles. Ces zones résultent pour l'essentiel de différents régimes du rayonnement solaire incident et se distinguent par des valeurs caractéristiques des températures, précipitations etc. Par «zone tempérée», on entend la zone climatique aux latitudes moyennes, dominée par le vent d'ouest et présentant des fluctuations caractéristiques des températures saisonnières.