

## Chapitre 2

# Implications des données scientifiques relatives au climat pour les négociateurs

Thomas F. Stocker

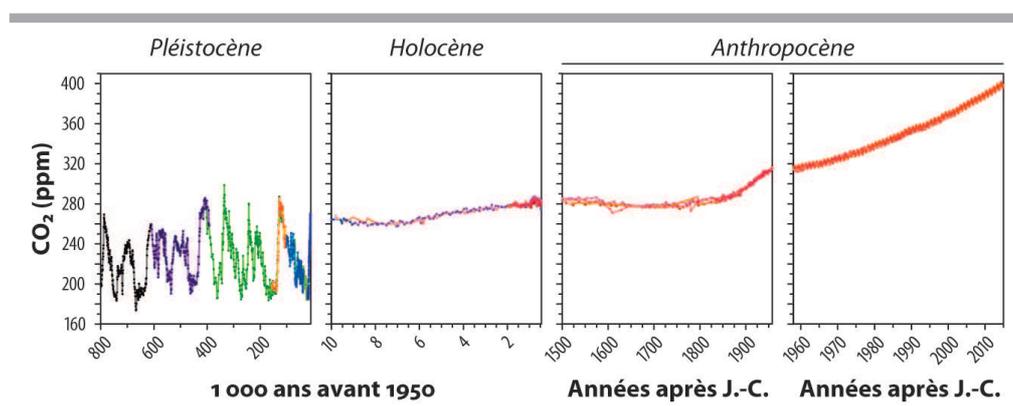
« Les changements climatiques représentent un des plus grands défis de notre temps », affirmaient les parties à la Convention-Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC, 2009). Le cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), qui a donné lieu en novembre 2014 à la publication du Rapport de synthèse (GIEC, 2014c), livre un aperçu complet des connaissances scientifiques permettant de quantifier, de comprendre et d'affronter ce problème. Les quatre messages clés du « Résumé à l'intention des décideurs » du Rapport de synthèse sont les suivants :

1. L'influence humaine sur le système climatique ne fait aucun doute et le niveau des émissions anthropiques récentes de gaz à effet de serre n'a jamais été aussi élevé. Le changement climatique récent a exercé des effets généralisés sur les systèmes humains et naturels.
2. La poursuite des émissions de gaz à effet de serre aggravera le réchauffement et modifiera à long terme toutes les composantes du système climatique, ce qui renforcera la probabilité d'effets sévères, généralisés et irréversibles sur les personnes et les écosystèmes. La limitation du changement climatique nécessiterait des réductions substantielles et soutenues des émissions de gaz à effet de serre, qui, parallèlement à l'adaptation, permettraient de limiter les risques du changement climatique.
3. L'adaptation et l'atténuation constituent des stratégies complémentaires de réduction et de gestion des risques du changement climatique. La réduction substantielle des émissions au cours des décennies à venir pourrait diminuer les risques climatiques au 21<sup>e</sup> siècle et au-delà, renforcer les chances de réussite des mesures d'adaptation, alléger les coûts et les difficultés liés à l'atténuation sur le long terme et contribuer à l'avènement d'un développement durable capable de résilience face au changement climatique.
4. De nombreuses solutions d'adaptation et d'atténuation peuvent aider à faire face au changement climatique mais aucune d'entre elles ne constitue la panacée. L'efficacité de leur mise en œuvre dépend des politiques et de la coopération à tous les échelons, et peut être renforcée par des réponses intégrées liant l'adaptation et l'atténuation à d'autres objectifs sociétaux.

Le poids de ces déclarations, qui reposent sur des évaluations scientifiques, tient à l'approbation formelle et consensuelle de leur formulation par les pays membres du GIEC.

Le présent chapitre décrit brièvement les apports importants de la physique du climat (section 1) et les envisage du point de vue des menaces qui pèsent sur les ressources primaires de l'espèce humaine et des écosystèmes. La section 2 aborde les projections du changement climatique et établit le lien avec les exigences de l'adaptation et leurs limites. La section 3 propose les émissions de carbone cumulées comme cadre d'évaluation des solutions envisageables pour lutter contre le changement climatique ; la section 4 explique pourquoi ces solutions deviennent de plus en plus improbables. Enfin, la section 5 présente les défis qui nous attendent.

**Figure 2.1.** Concentrations de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère au cours des 800 000 dernières années



**Remarques :** concentrations de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère mesurées à partir de bulles d'air prises dans diverses carottes de glace prélevées dans l'Antarctique (trois panneaux de gauche) et mesures directes prises au Mauna Loa depuis 1958 (panneau de droite). Les concentrations actuelles sont très supérieures à la fourchette naturelle des variations pendant les cycles glaciaires. La taille de l'échelle temporelle met en lumière l'accélération rapide de l'augmentation du CO<sub>2</sub> : au cours des soixante dernières années, la teneur en dioxyde de carbone a quasiment doublé par rapport aux 400 années précédentes et presque quadruplé par rapport aux 10 000 dernières années.

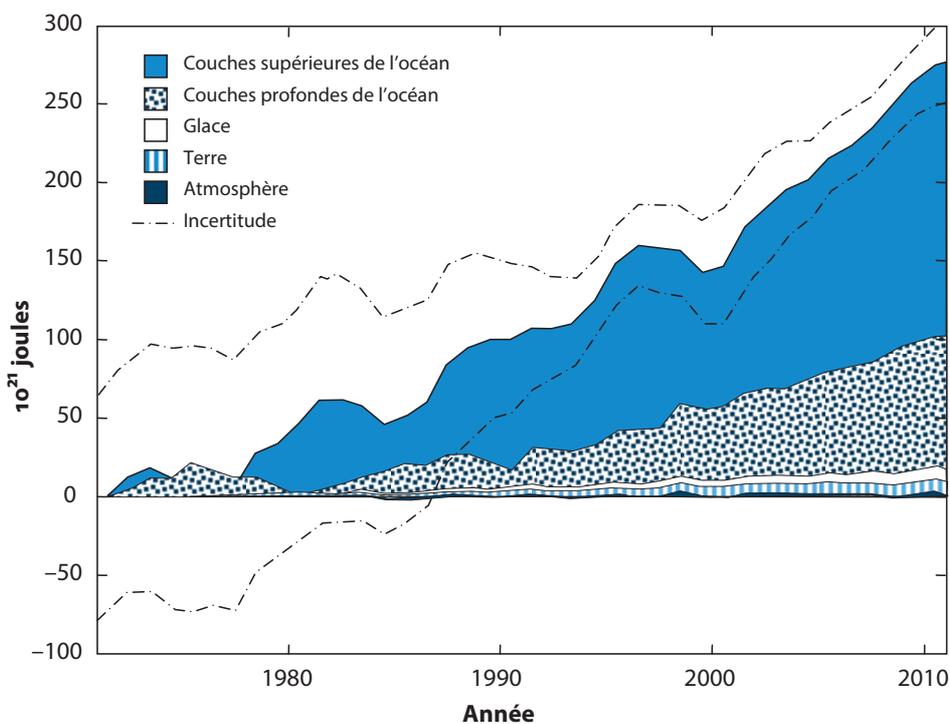
**Sources :** données extraites de Lüthi *et al.* (2008), Bereiter *et al.* (2015) et NOAA ERSL ; figure réalisée par B. Bereiter.

## 1. Le changement climatique anthropique, menace pour les ressources primaires

Sans précédent, les concentrations actuelles de dioxyde de carbone dans l'atmosphère sont 30 % supérieures à celles produites pendant au moins les 800 000 dernières années. Elles augmentent plus de cent fois plus vite qu'au cours des 20 000 dernières années (figure 2.1.). Il en va de même pour le méthane et l'oxyde nitreux, les deux autres gaz à effet de serre jouant un rôle important. La composition chimique de l'atmosphère terrestre est désormais

fondamentalement différente de celle qui prévalait avant la révolution industrielle (Hartmann *et al.*, 2013).

**Figure 2.2. Accumulation de chaleur dans le système terrestre : évolution de la teneur énergétique du système terrestre depuis 1970**



**Remarque:** plus de 90 % de l'énergie supplémentaire sont stockés dans les deux premiers kilomètres des océans de la planète. Par rapport au réchauffement atmosphérique, qui présente des variations décennales importantes même à l'échelle mondiale, les océans, de par leur rôle d'intégrateur, permettent d'évaluer efficacement le réchauffement.

**Source:** figure modifiée reprise de Stocker *et al.* (2013) et GIEC (2014c).

Revenant au système climatique physique, le GIEC s'est appuyé sur de multiples mesures interdépendantes effectuées dans l'atmosphère, les océans et la cryosphère pour parvenir à la conclusion que le *réchauffement du système climatique est indubitable*. Depuis 1951, le réchauffement de la Terre (d'environ 0,6 à 0,7 °C) constitue la manifestation la plus palpable de l'évolution de son équilibre énergétique global. Cette situation résulte du forçage radiatif positif observé depuis 1750 dû à l'augmentation de la concentration des principaux gaz à effet de serre dans l'atmosphère et à sa contribution importante au réchauffement (figure 2.1.), ainsi qu'à une moindre contribution des aérosols au refroidissement. La détection de cette énergie supplémentaire dans le système terrestre constitue une manifestation beaucoup plus convaincante des conséquences de ce phénomène. Depuis 1970, la teneur énergétique du système terrestre a augmenté d'environ  $250 \cdot 10^{21}$  J (figure 2.2.). Grâce au travail sans précédent accompli par la communauté scientifique internationale

pour mesurer la température de tous les océans depuis la surface jusqu'à une profondeur d'environ deux kilomètres, nous savons que plus de 90 % de cette énergie sont stockés dans les océans (Roemmich *et al.*, 2012). Paradoxalement, le grand public s'attache presque exclusivement aux températures atmosphériques, et notamment à leur variabilité décennale récente (Boykoff, 2014), alors que les océans constituent un intégrateur et un enregistreur naturels du réchauffement.

La hausse des concentrations de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère entraîne une autre conséquence à long terme : l'acidification des océans (Orr *et al.*, 2005). En règle générale, les décideurs, les négociateurs et le grand public n'ont pas accordé à cette évolution planétaire toute l'attention qu'elle mérite ; elle est néanmoins désormais reconnue comme l'un des changements à long terme les plus dramatiques que l'espèce humaine a infligés au système terrestre. En effet, une grande partie du CO<sub>2</sub> émis demeure dans l'atmosphère pendant des milliers d'années en raison de l'effet tampon de l'eau de mer sur ce gaz. Les conséquences de l'acidification des océans, à laquelle vient s'ajouter le réchauffement mondial, sont mal connues, mais elles toucheront les écosystèmes marins à l'échelle planétaire et feront courir des risques croissants à la vie sous-marine (Gattuso *et al.*, 2015).

Le réchauffement entraîne également la hausse directe et indirecte du niveau de la mer. L'expansion thermique de l'eau qui se réchauffe, la fonte des glaciers et la perte de masse du Groenland et de l'Antarctique contribuent à la hausse rapide du niveau de la mer (Church *et al.*, 2013).

De multiples autres changements ont été détectés au cours des cinquante dernières années dans toutes les composantes du système terrestre. On a ainsi observé, entre autres, la réduction de la surface et de l'épaisseur de la couche de glace de l'océan Arctique, la fonte de la calotte glaciaire du Groenland et de l'Antarctique, le recul des glaciers partout dans le monde, des changements dans le cycle mondial de l'eau ainsi que la fréquence et la violence accrues des événements extrêmes (deux fois plus de canicules, par exemple). Le réchauffement et un grand nombre des changements qu'il entraîne proviennent de l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre et d'autres substances dans l'atmosphère. Les simulations modélisées et les travaux d'observation menés à travers le monde aboutissent à cette conclusion, et permettent d'attribuer les changements observés à divers facteurs et causes (Bindoff *et al.*, 2013). Face à la solidité de ces faits scientifiques, le GIEC conclut dans son rapport AR5 que « *l'influence humaine sur le système climatique ne fait aucun doute* ». La formulation simple et directe de cette affirmation, qui résume en quelques mots les milliers d'études scientifiques prises en compte dans la dernière évaluation, a été approuvée par les États membres du GIEC.

Néanmoins, l'ampleur de ces changements physiques et de leurs effets sur l'ensemble de la planète n'apparaîtra clairement aux négociateurs et au grand public que si nous les abordons sous l'angle de leur influence sur la disponibilité des ressources primaires dont l'espèce humaine tire sa subsistance, à savoir la terre, la nourriture et l'eau. Toutes trois sont directement menacées par le changement climatique :

- la superficie des terres disponibles décroît sous l'effet de la hausse du niveau de la mer ;
- les changements apportés à certaines des conditions fondamentales de la vie des écosystèmes telles que les températures et les précipitations moyennes et leur expression saisonnière fragilisent la production alimentaire terrestre ;
- l'effet combiné du réchauffement climatique et de l'acidification des océans risque de nuire à la production alimentaire issue du milieu océanique ;
- la modification à l'échelle planétaire des précipitations et de l'évaporation, qui tend à exacerber des stress préexistants comme la sécheresse et les inondations, épuise les réserves d'eau dans de nombreuses régions du monde.

C'est dans ce contexte que nous devons replacer l'article 2 de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC, 1992), qui stipule :

L'objectif ultime de la présente Convention [...] est de stabiliser [...] les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique. Il conviendra d'atteindre ce niveau dans un délai suffisant pour que les écosystèmes puissent s'adapter naturellement au changement climatique, que la production alimentaire ne soit pas menacée et que le développement économique puisse se poursuivre d'une manière durable.

Il s'est avéré difficile de cerner et de définir le « danger » évoqué par la phrase « *perturbation anthropique dangereuse du système climatique* », car il est impossible à déterminer et à quantifier scientifiquement. De toute évidence, les changements qui influent sur la disponibilité des ressources comportent un risque inhérent. Le développement et l'optimisation des systèmes sociaux se sont déroulés sur une longue période pendant laquelle les ressources sont demeurées stables, leurs variations étant contenues dans des limites relativement étroites. Si la disponibilité des ressources ou leur stabilité venait à s'éloigner des niveaux de résilience testés et expérimentés, l'équilibre fragile des systèmes serait sérieusement mis en cause.

## **2. Projections du changement climatique et menace liée aux limites de l'adaptation**

Les décideurs et le grand public ont souvent du mal à comprendre l'échéance temporelle, étalée sur de nombreuses décennies, des projections du changement climatique. Comment les scientifiques peuvent-ils estimer l'évolution à long terme du système terrestre quand il est quasiment impossible de prédire les conditions météorologiques à environ dix jours ? Une analogie simple tirée de la physique classique devrait éclaircir cette question récurrente. Prenons un récipient rempli d'eau posé sur une plaque chauffante ; nous connaissons

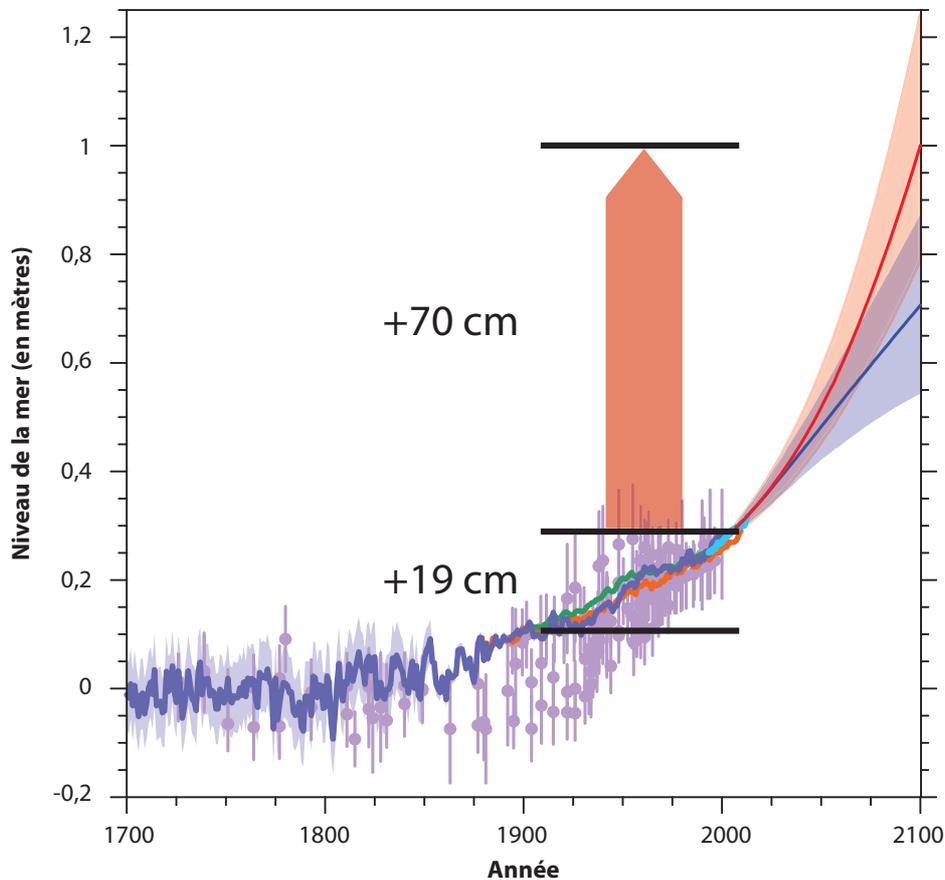
les dimensions du récipient, la quantité d'eau et la puissance électrique de la plaque. Tout le monde conviendra que nous pouvons estimer assez précisément la température moyenne de l'eau au bout, par exemple, de cinq minutes de chauffage à un niveau de puissance donné. En revanche, nous ne pourrons pas dire au cuisinier à quel moment une bulle de vapeur d'eau se formera au fond du récipient et montera à la surface. Heureusement, le cuisinier ne s'en souciera probablement pas. Nous sommes incapables de fournir cette information en raison de la turbulence du fluide et des processus chaotiques associés à la convection lorsqu'un fluide est placé sur une source de chaleur (Lorenz, 1963). Néanmoins, l'existence de ces processus internes chaotiques ne nous empêche pas d'estimer avec beaucoup de précision la température moyenne à partir de l'équilibre énergétique. Un petit effort supplémentaire nous permettra également de connaître les statistiques de la formation de bulles au fond du récipient en fonction du temps.

Cette analogie convient parfaitement à la prévision du changement climatique. L'exemple montre pourquoi nous pouvons être certains du bien-fondé de nos estimations relatives à l'avenir du système terrestre, même si nous sommes incapables d'en quantifier toute la dynamique interne à chaque instant. La puissance de la plaque chauffante constitue l'information essentielle pour estimer l'évolution de la température de l'eau dans le récipient; dans le cas du changement climatique, il s'agit du scénario des émissions de gaz à effet de serre.

Des modèles climatiques complets basés sur de nouveaux scénarios d'émissions permettent d'anticiper l'évolution du système climatique au 21<sup>e</sup> siècle et au-delà<sup>1</sup>. Hormis celui où les émissions sont les plus faibles, tous les scénarios prédisent, d'ici la fin du 21<sup>e</sup> siècle, une hausse de la température de surface mondiale qui dépassera *probablement* 1,5 °C par rapport à la période 1850-1900. Le scénario à faible niveau d'émissions suppose une intervention politique efficace qui réduirait drastiquement les émissions d'environ 50 % d'ici 2050, suivie d'une décarbonisation totale. À l'inverse, un scénario de *statu quo* aboutit à une augmentation moyenne de la température supérieure à 4,5 °C par rapport à la période 1850-1900, avec de profondes modifications de toutes les composantes du système climatique. Par rapport à la période 1986-2005, le niveau de la mer progresserait de 0,52 à 0,98 m d'ici 2100 à raison de 8-16 mm par an sous l'effet du réchauffement accru des océans et de la fonte des glaciers et des calottes glaciaires. Dans ce scénario, l'océan Arctique sera probablement presque entièrement dégelé dès le mois de septembre avant le milieu du siècle. Par ailleurs, le contraste entre régions humides et sèches et entre saison humide et saison sèche, s'accroîtra. L'influence du changement climatique sur les processus du cycle du carbone accroîtra sensiblement la présence de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Les océans continueront à absorber le carbone et leur taux d'acidification progressera en conséquence.

1. Voir le chapitre 3 de ce volume par O. Edenhofer, S. Kadner, C. von Stechow et J.C. Minx: *Au-delà de la limite de 2 °C: faire face aux défis économiques et institutionnels*.

**Figure 2.3.** Échelle des engagements d'adaptation à la hausse du niveau de la mer



**Remarques :** compilation des paléo-données sur le niveau de la mer (violet), des données de marégraphes (bleu, rouge et vert), des données d'altimètres (bleu clair), des estimations centrales et des fourchettes probables des projections de hausse moyenne du niveau de la mer dans le monde. Les données ont été agrégées à partir des résultats du projet CMIP5 et de modèles basés sur des processus pour les scénarios RCP2.6 (bleu) et RCP8.5 (rouge) et comparées aux valeurs préindustrielles. Au cours des cent dernières années, il a fallu s'adapter à une hausse de 19 cm, très inférieure aux 70 cm estimés pour 2100 dans un scénario de statu quo.

**Source :** figure modifiée reprise de Stocker *et al.*, 2013

Ces changements confrontent les décideurs et les négociateurs à la question clé de la capacité d'adaptation ; pour l'illustrer, nous recourons aux projections de hausse du niveau de la mer (figure 2.3.). L'adaptation à une hausse du niveau de la mer de 19 cm a commencé au début du 20<sup>e</sup> siècle. Il convient néanmoins de noter qu'il n'a pas été nécessaire de s'y adapter complètement, puisque de nombreuses infrastructures côtières n'ont vu le jour qu'au cours de ce siècle. La comparaison de ces données aux efforts d'adaptation requis dans un scénario de *statu quo* (70 cm de plus), en tenant compte également de la maturité des infrastructures et de la présence d'agglomérations côtières qui devront s'adapter, donne une idée des graves problèmes à escompter. Le

scénario d'atténuation (RCP2.6) requiert encore une adaptation à la hausse du niveau de la mer, mais inférieure de moitié environ. À noter qu'il ne suffira pas de bien s'adapter aux conditions du 21<sup>e</sup> siècle, car le niveau de la mer continuera à grimper bien après 2100. De nombreuses régions auront probablement déjà atteint les limites de leur capacité d'adaptation au 21<sup>e</sup> siècle (Klein *et al.*, 2014). L'adaptation des écosystèmes terrestres et marins présente elle aussi des limites (Burrows *et al.*, 2011).

Les limites d'adaptation que nous risquons d'atteindre au 21<sup>e</sup> siècle dépendront des choix et des mesures pris aujourd'hui; elles relèvent de la notion fondamentale que le système terrestre n'est habitable que dans des limites restreintes dites « limites planétaires » (Rockström *et al.*, 2009). Si ces limites changent du fait de l'activité humaine ou si nous forçons le système terrestre à les dépasser, le bon fonctionnement du monde tel que nous le connaissons aujourd'hui sera gravement menacé.

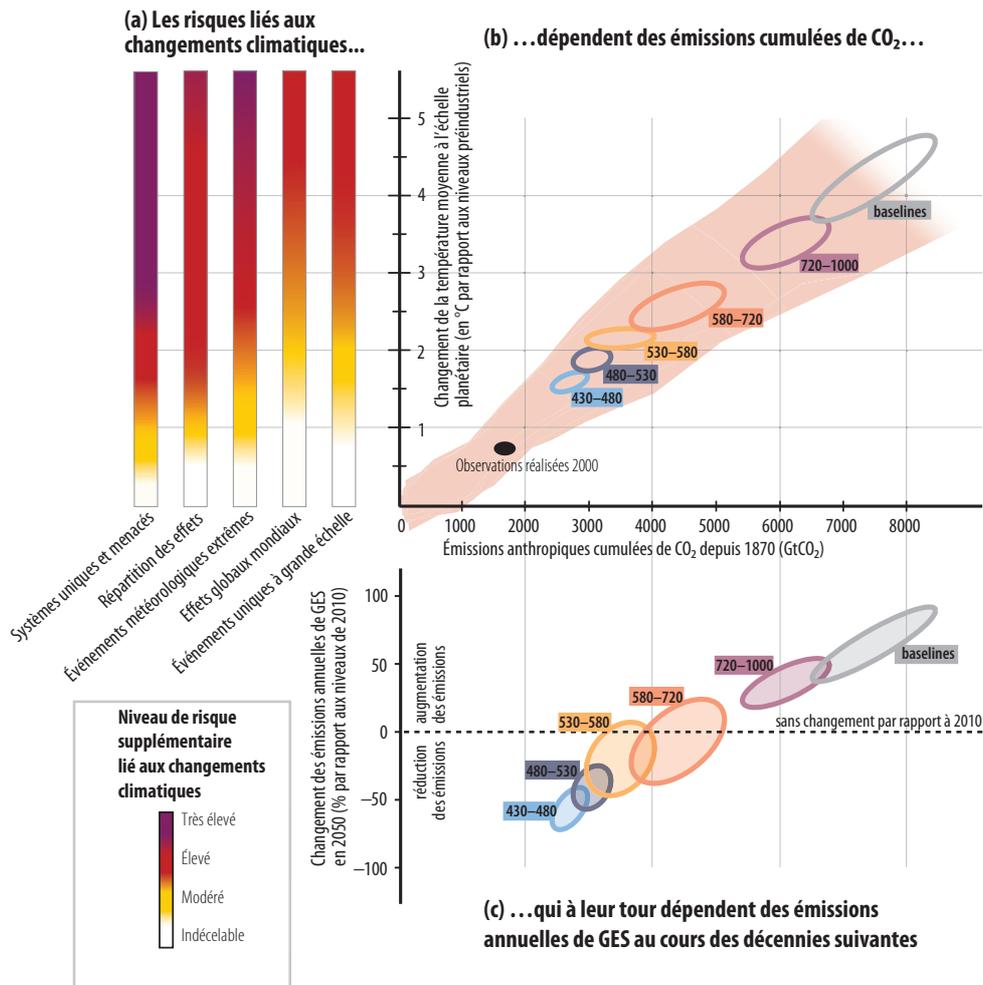
### 3. Solutions actuelles au problème

Aux fins du rapport AR5, divers scénarios d'émissions ont été élaborés pour anticiper l'évolution possible du système terrestre, selon plusieurs modèles du système terrestre et du changement climatique (GIEC, 2013a). Ils permettent également d'évaluer les effets et les risques (GIEC, 2014a), de connaître les solutions technologiques envisageables et de cerner les exigences économiques et sociétales (GIEC, 2014b). L'ensemble de ces résultats, communiqués par le biais des quatre « voies de concentration représentatives » (scénarios RCP), suggère diverses options. De fait, le choix s'offre à nous aujourd'hui entre i) un système terrestre profondément modifié, caractérisé par une disponibilité différente des deux principales ressources indispensables aux communautés humaines et aux écosystèmes et ii) un système terrestre moins modifié, où l'adaptation demeurera réalisable dans de nombreuses régions. Dans le premier cas, la poursuite de la hausse du niveau de la mer rognera la superficie de terres disponibles et exercera des effets sévères et généralisés sur les agglomérations côtières. Par ailleurs, la modification du cycle mondial de l'eau creusera les disparités entre régions sèches et humides, avec des conséquences particulièrement graves pour les zones déjà victimes de sécheresse.

Mais ces options ont une date de péremption: si la progression des émissions de gaz à effet de serre se poursuit à raison d'environ 1,8 % par an comme au cours des quarante dernières années, leur faisabilité disparaîtra progressivement. Grâce au rapport AR5, les négociateurs sont en mesure d'établir le lien entre l'évaluation des risques liés au changement climatique et la nécessité de l'enrayer. Il s'agit là de l'apport majeur du Rapport de synthèse (GIEC, 2014c). La relation quasi linéaire entre le réchauffement moyen de la surface planétaire d'ici la fin du 21<sup>e</sup> siècle et le total cumulé des émissions de CO<sub>2</sub> depuis l'ère industrielle (GIEC, 2013b) constitue un nouvel élément essentiel. Plus les émissions cumulées seront conséquentes, plus la température maximale

sera élevée au 21<sup>e</sup> siècle. Reconnaître que le réchauffement est fonction de la quantité totale d'émissions confère aux causes du réchauffement futur une perspective historique majeure qui manquait jusqu'ici.

**Figure 2.4.** Résultats les plus pertinents en termes de politiques issus de la synthèse des évaluations menées par les trois groupes de travail



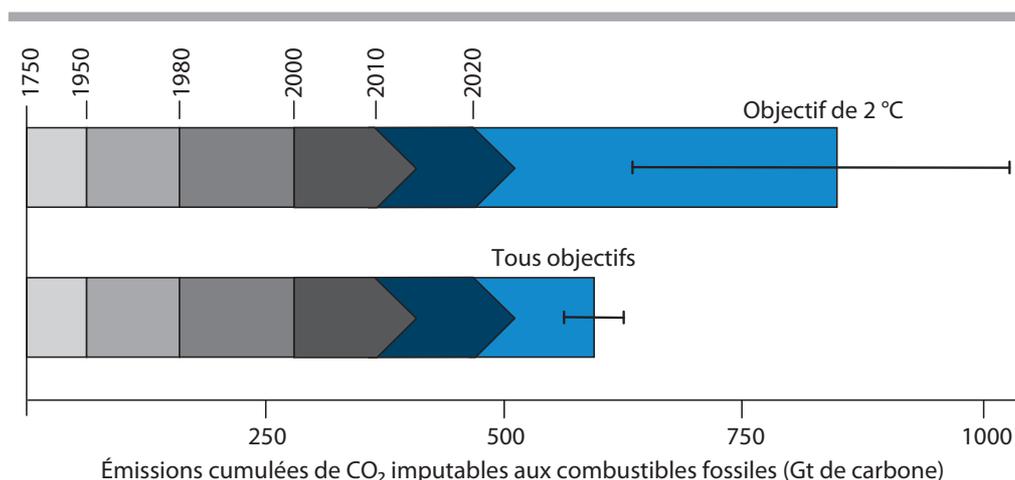
**Remarques :** le panneau (a) identifie cinq risques principaux liés au changement climatique, dont les niveaux augmentent avec la hausse des températures. En raison de la relation quasi linéaire entre les émissions anthropiques cumulées de CO<sub>2</sub> et le réchauffement (panneau (b)), le niveau de risque est fonction de la quantité totale de CO<sub>2</sub> émise. Il est possible d'estimer les besoins en réduction des émissions d'ici 2050 sur la base des émissions à ce jour (panneau (c)). Par exemple, pour que la probabilité de limiter les risques à ceux escomptés pour un réchauffement de 2 °C maximum soit supérieure à 66 %, il faut réduire les émissions de 40 à 70 % par rapport aux niveaux de 2010. La marge d'incertitude estimée est représentée par la zone colorée (panneau b) et les ellipses (panneaux b et c).

**Source :** schémas modifiés repris des travaux du GIEC (2014c).

La figure 2.4. illustre cette conclusion, d'une grande pertinence en termes de politiques. Les risques liés au changement climatique augmentent à des taux spécifiques en fonction du réchauffement (panneau (a)). Par conséquent, la

limite que le processus de négociation politique pourrait fixer au risque est une quantité acceptable d'émissions cumulées (panneau (b)), c'est-à-dire un budget carbone limité. L'indicateur est ici la température, mais l'article 2 de la CCNUCC indique clairement que celle-ci ne permettra pas à elle seule d'atteindre l'objectif déclaré: si elle constituait l'unique indicateur de changement, les risques liés à l'acidification des océans ne seraient ainsi pas pris en compte. De la même manière, les conséquences à long terme d'une hausse du niveau de la mer ne sont pas directement proportionnelles au réchauffement qui se produira au 21<sup>e</sup> siècle. Tout accord visant à limiter le changement climatique, ses effets et ses risques implique de ne pas dépasser le budget carbone fixé et donc contraint les pays à réduire leurs émissions. Le panneau (c) quantifie ces réductions à l'horizon 2050. Le budget carbone requiert également clairement une décarbonisation complète nette au-delà de 2050 pour maintenir le réchauffement en dessous d'un objectif convenu.

**Figure 2.5. Effet de plusieurs objectifs climatiques sur les émissions cumulées**



**Remarques:** les émissions cumulées de combustibles fossiles, hors modifications passées et futures de l'utilisation des terres, compatibles avec un objectif de température unique (barre du haut) sont beaucoup plus importantes que celles conformes à des objectifs climatiques, pertinents en termes de politiques, qui satisfont de manière plus complète aux dispositions de l'article 2 de la CCNUCC. La fourchette probable (66 %) des estimations probabilistes est indiquée par les barres d'incertitude.

**Source:** figure réalisée par M. Steinacher d'après Steinacher *et al.*, 2013.

L'évaluation du groupe de travail I conclut que, pour espérer raisonnablement maintenir le réchauffement mondial moyen en dessous de 2 °C, il faudrait que la quantité totale maximale de carbone émise dans l'atmosphère depuis la fin du 19<sup>e</sup> siècle ne dépasse pas environ 1 000 milliards de tonnes<sup>2</sup>. En 2014, on

2. Le groupe de travail I rapporte les réductions d'émissions en milliards de tonnes de carbone (GtC) alors que le groupe de travail III les donne en milliards de tonnes de dioxyde de carbone (GtCO<sub>2</sub>) (1 GtC = 3,667 GtCO<sub>2</sub>). Par ailleurs, leurs rapports respectifs indiquent systématiquement l'incertitude.

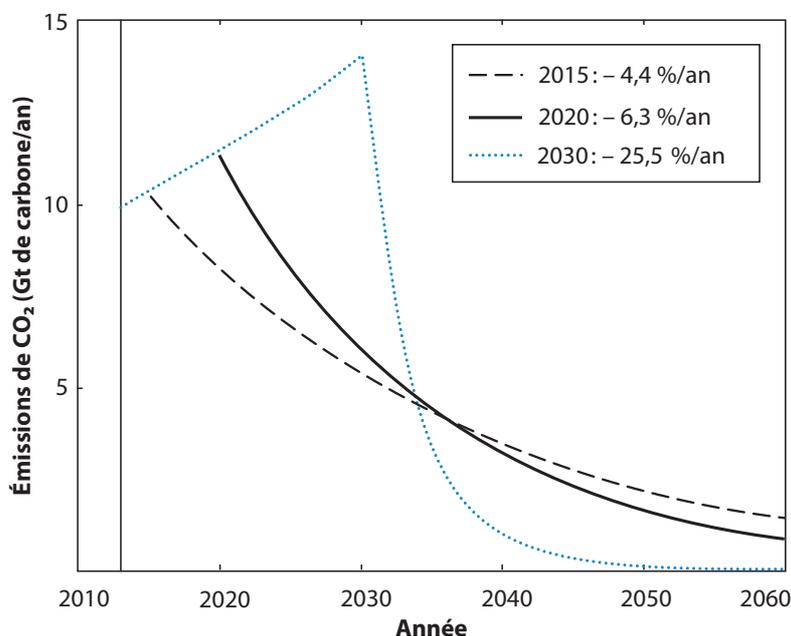
atteignait déjà 545 milliards de tonnes. Il ne resterait donc plus que 455 milliards de tonnes à émettre pour atteindre cet objectif, voire seulement 245 milliards de tonnes si l'on prend en compte les impacts d'autres gaz à effet de serre tels que le méthane et l'oxyde nitreux issus de la production alimentaire, soit moins de 25 ans d'émissions aux niveaux de 2014. Certes très simplifiée, cette estimation montre néanmoins que les mesures envisageables ne resteront pas éternellement applicables et doivent être mises en œuvre sans tarder.

L'objectif de température convenu par les parties de la CCNUCC (CCNUCC, 2010) ne garantit pas que l'objectif de l'article 2 sera complètement atteint. L'adaptation, la production alimentaire et l'éradication de la pauvreté grâce au développement durable exigent une approche plus globale. La définition d'objectifs climatiques supplémentaires proposée par Steinacher *et al.* en 2013 constitue un premier pas dans cette direction. Moins complexe, le modèle de système terrestre Bern3D a permis de définir divers ensembles d'objectifs climatiques combinés et de procéder au calcul probabiliste des émissions de carbone cumulées compatibles. Ces objectifs portaient à la fois sur des quantités physiques et des quantités liées au cycle du carbone : limite de la température moyenne mondiale, mais aussi de la hausse du niveau de la mer, de l'acidification des océans et de la perte de production primaire terrestre. Le détail des calculs met en évidence une baisse notable du budget global de l'ordre de 30 % si tous les objectifs sont atteints avec des niveaux d'ambition comparables pour chacun d'entre eux (figure 2.5.).

#### **4. Tandis que les négociations se poursuivent, les mesures d'atténuation et d'adaptation sont de moins en moins nombreuses**

La longueur des négociations due à leur complexité nuit au but ultime de la CCNUCC, à savoir stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Convenus en 1992, cet objectif n'est entré en vigueur qu'en 1994. Depuis lors, plus de 20 % du budget d'émissions de carbone cumulées compatible avec l'objectif des 2 °C, soit 42 % du budget restant à cette date, ont été consommés. Le moment où commencera la réalisation des objectifs de réduction des émissions est crucial. À titre d'exemple, nous envisagerons des objectifs d'émissions idéaux (Stocker, 2013), suffisamment simples pour se prêter aisément à une évaluation analytique. La figure 2.6. représente trois approches applicables à un programme d'atténuation mondial, toutes compatibles avec l'objectif des 2 °C, mais commençant à des moments différents. De toute évidence, plus la mise en œuvre démarre tardivement, plus le niveau d'atténuation devient exigeant. Si l'on commençait immédiatement, les émissions devraient chuter à un taux constant de 4,4 % par an alors que, dans quinze ans, le taux de décarbonisation passe à plus de 25 % par an, un chiffre irréaliste sur le plan économique (den Elzen *et al.*, 2007).

**Figure 2.6. Courbes d'émissions exponentielles idéales compatibles avec un objectif de 2 °C**



**Remarques :** chaque courbe suppose une période d'augmentation continue des émissions de 2 % par an (soit environ le taux actuel à long terme) suivie d'une réduction soutenue commençant à divers moments dans l'avenir.

**Source :** d'après Stocker, 2013.

Une autre façon d'envisager le problème consiste à obtenir le taux de réduction des émissions requis compte tenu d'un objectif de température convenu et à fixer l'année de commencement de l'atténuation. Plus celui-ci est tardif, plus l'objectif de température devient difficile à atteindre. Allen et Stocker ont introduit en 2014 un nouvel indicateur (sensibilité à un démarrage tardif de l'atténuation ou MDS) permettant de mesurer la vitesse à laquelle les objectifs climatiques deviennent inatteignables, et donc obsolètes : cette mesure est totalement pertinente en termes de politiques, car elle indique directement le degré d'urgence des mesures d'atténuation à mettre en œuvre pour qu'un objectif demeure réalisable. Le MDS peut également être calculé pour d'autres quantités pertinentes en termes de politiques telles que la hausse du niveau de la mer ou l'acidification des océans (Pfister et Stocker, 2015).

Les estimations issues des modèles montrent que, dans dix ans environ, l'objectif de 2,5 °C sera devenu aussi ambitieux que celui de 2 °C aujourd'hui (Allen et Stocker, 2014). À ambition constante, l'objectif de température réalisable augmente donc de deux à six fois plus vite que le réchauffement observé au cours des dernières décennies. Le niveau de la mer ne réagissant que lentement au forçage radiatif, les MDS correspondants sont de 9 à 25 fois plus importants que les chiffres constatés actuellement. Par conséquent, le réchauffement et la hausse du niveau de la mer observés conduisent à sous-estimer largement l'urgence du problème.

## 5. Défis pour l'avenir et conclusions

Pour être utiles aux décideurs, les informations relatives aux changements subis par le système terrestre doivent se régionaliser. La mise à l'échelle des informations (modèles planétaires, modèles régionaux portant sur des zones limitées, et modèles à petite échelle) améliorera la qualité de l'échange d'informations entre les communautés scientifiques s'intéressant aux processus physiques du système terrestre et celles étudiant les effets, la vulnérabilité et le risque. Des cartes de risque quantitatives seraient particulièrement utiles aux négociateurs à ce stade, mais leur réalisation nécessiterait de quantifier la vulnérabilité et l'exposition au changement climatique. Les communautés scientifiques concernées pourraient peut-être concevoir une stratégie à long terme, sous l'égide du programme Future Earth ([www.futureearth.org](http://www.futureearth.org)) par exemple, visant à élaborer, comparer, évaluer et appliquer des modèles d'effets et de risques à l'aide de l'approche adoptée avec succès par le World Climate Research Programme ([wcrp-climate.org](http://wcrp-climate.org)) pour sa série de projets de comparaison de modèles couplés (CMIP5).

Le laps de temps limité pendant lequel il nous sera encore possible de réaliser l'objectif des 2 °C constitue l'un des défis majeurs auquel sont confrontés les négociateurs. Pendant que l'on cherche des solutions (voir la Partie III du présent ouvrage), que l'on formule des accords et que l'on négocie des cadres juridiques, les émissions de carbone continuent à progresser partout dans le monde; à niveau constant d'ambition en matière de réduction des émissions, environ 0,4 °C de l'objectif de température est perdu chaque décennie. Une fois le budget carbone d'un objectif spécifique épuisé, ce dernier devient définitivement irréalisable (exception faite des émissions négatives à l'échelle planétaire, qui seront indisponibles dans un avenir proche). De ce fait, à un moment donné, il deviendra nécessaire de réviser à la hausse les objectifs liés au changement climatique. Si cela se produit, comment gérons-nous un tel échec de la gouvernance mondiale ?

D'un point de vue plus large, nous devrions reconnaître qu'il est indispensable de faire face au changement climatique pour atteindre les objectifs de développement durable auxquels les pays se sont engagés. L'atténuation efficace du changement climatique constitue un bon point de départ et permettra d'atteindre plus rapidement un grand nombre d'entre eux. En revanche, le *statu quo* empêchera à coup sûr leur réalisation. Par conséquent, la réponse au changement climatique doit faire partie intégrante de la stratégie de réalisation des objectifs de développement durable.

## Références

- ALLEN M.R. et STOCKER T.F., 2014, « Impact of delay in reducing carbon dioxide emissions », *Nature Climate Change* 4, p. 23-26.
- BEREITER B., EGGLESTON S., SCHMITT J., NEHRBASS-AHLES C., STOCKER T.F.,

- FISCHER H., KIPFSTUHL S. et CHAPPELLAZ J., 2015, « Revision of the EPICA Dome C CO<sub>2</sub> record from 800 to 600 kyr before present », *Geophysical Research Letters* 42 (2), p. 542-549.
- BINDOFF N.L., STOTT P.A. *et al.*, 2013, « Detection and Attribution of Climate Change: from Global to Regional » in *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press.
  - BOYKOFF M.T., 2014, « Media discourse on the climate slowdown », *Nature Climate Change* 4, p. 156-158.
  - BURROWS M.T. *et al.*, 2011, « The pace of shifting climate in marine and terrestrial ecosystems », *Science* 334, p. 652-655.
  - CCNUCC, 1992, Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique (FCCC/INFORMAL/84 GE.05-62220 (E) 200705), New York.
  - CCNUCC, 2009, Accord de Copenhague (FCCC/CP/2009/11/Add.1), New York.
  - CCNUCC, 2010, Accords de Cancún (FCCC/CP/2010/7/Add.1), New York.
  - CHURCH J.A., CLARK P.U. *et al.*, 2013, « Sea Level Change » in *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press.
  - DEN ELZEN M., MEINSHAUSEN M., et VAN VUUREN D., 2007, « Multi-gas emission envelopes to meet greenhouse gas concentration targets: Costs versus certainty of limiting temperature increase », *Global Environmental Change* 17 (2), p. 260-280.
  - GATTUSO J.P. *et al.*, 2015, « Constrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions scenarios », *Science* 349.
  - GIEC, 2013a, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis* (voir les références complètes du rapport dans l'introduction de cet ouvrage).
  - GIEC, 2013b, « Résumé à l'intention des décideurs » in *Climate Change 2013: The Physical Science Basis* (voir les références complètes du rapport dans l'introduction de cet ouvrage).
  - GIEC, 2014a, *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects* (voir les références complètes du rapport dans l'introduction de cet ouvrage).
  - GIEC, 2014b, *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change* (voir les références complètes du rapport dans l'introduction de cet ouvrage).
  - GIEC, 2014c, *Climate Change 2014: Synthesis Report* (voir les références complètes du rapport dans l'introduction de cet ouvrage).
  - HARTMANN D.L., KLEIN TANK A.M.G., RUSTICUCCI M. *et al.*, 2013, « Observations: Atmosphere and Surface » in *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press.
  - KLEIN R.J.T., MIDGLEY G.F., PRESTON B.L. *et al.*, 2014, « Adaptation opportunities, constraints, and limits » in *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*, Cambridge University Press.
  - LORENZ E.N., 1963, « Deterministic non-periodic flow », *Journal of the Atmospheric Sciences* 20, p. 130-141.
  - LÜTHI D., LE FLOCH M., BEREITER B., BLUNIER T., BARNOLA J.-M.,

- 
- SIEGENTHALER U., RAYNAUD D., JOUZEL J., FISCHER H., KAWAMURA K. et STOCKER T.F., 2008, « High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000-800,000 years before present », *Nature* 453, p. 379-382.
- ORR J.C. *et al.*, 2005, « Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms », *Nature* 437, p. 681-685.
  - PFISTER P.L. et STOCKER T.F., 2015, « Earth System commitments due to delayed mitigation », *Science* (soumis pour publication).
  - ROCKSTRÖM J. *et al.*, 2009, « A safe operating space for humanity », *Nature* 461, p. 472-475.
  - ROEMMICH D., GOULD J.W. et GILSON J., 2012, « 135 years of global ocean warming between the Challenger expedition and the Argo Programme », *Nature Climate Change* 2, p. 425-428.
  - STEINACHER M., JOOS F. et STOCKER T.F., 2013, « Allowable carbon emissions lowered by multiple climate targets », *Nature* 499, p. 197-201.
  - STOCKER T.F., 2013, « The closing door of climate targets », *Science* 339, p. 280-282.
  - STOCKER T.F., QIN D., PLATTNER G.-K. *et al.*, 2013, Résumé technique in *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press.