

Changements climatiques 2001: Rapport de synthèse

Résumé à l'intention des décideurs

Évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

Ce résumé, intégralement approuvé à la XVIII^e session du GIEC (Wembley, Royaume-Uni, 24-29 septembre 2001), représente la déclaration préalablement agréée par le GIEC sur les découvertes essentielles et les incertitudes des Contributions des Groupes de travail au Troisième rapport d'évaluation.

Établi à partir d'un projet élaboré par :

Robert T. Watson, Daniel L. Albritton, Terry Barker, Igor A. Bashmakov, Osvaldo Canziani, Renate Christ, Ulrich Cusbach, Ogunlade Davidson, Habiba Gitay, David Griggs, Kirsten Halsanaes, John Houghton, Joanna House, Zbigniew Kundzewicz, Murari Lai, Neil Leary, Christopher Magadza, James J. McCarthy, John F.B. Mitchell, Jose Roberto Moreira, Mohan Munasinghe, Ian Noble, Rajendra Pachauri, Barrie Pittock, Michael Prather, Richard G. Richels, John B. Robinson, Jayant Sathaye, Stephen Schneider, Robert Scholes, Thomas Stocker, Narasimhan Sundararaman, Rob Swart, Tomihiro Taniguchi, D. Zhou, et un grand nombre d'auteurs et réviseurs du GIEC.

Introduction

Conformément à une décision prise lors de sa XIII^e session (Maldives, 22 et 25–28 septembre 1997) et à des décisions ultérieures, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a décidé :

- d'inclure un Rapport de synthèse dans son Troisième rapport d'évaluation
- que ce Rapport de synthèse constituerait une synthèse et une intégration, pertinentes mais non prescriptives au plan politique, de l'information contenue dans le Troisième rapport d'évaluation et s'inspirerait également de tous les rapports du GIEC précédemment approuvés et acceptés qui examinent un large éventail de questions clés pertinentes, mais non prescriptives au plan politique
- que les questions seraient développées en collaboration avec la Conférence des Parties (COP) à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC).

Les neuf questions suivantes sont basées sur des soumissions gouvernementales et ont été approuvées par le GIEC lors de sa XV^e session (San José, Costa Rica, 15–18 avril 1999).

Question 1

Q1

Comment les analyses scientifiques, techniques et socio-économiques peuvent-elles contribuer à déterminer ce qui constitue une perturbation anthropique dangereuse du système climatique, telle qu'elle est définie dans l'Article 2 de la Convention-cadre sur les changements climatiques ?

Les sciences naturelles, techniques et sociales peuvent fournir des données et des preuves indispensables à la définition de ce qui constitue « une perturbation anthropique dangereuse du système climatique ». Mais cette définition est un jugement subjectif établi à partir de processus socio-politiques et qui prend en compte des facteurs tels que le développement, l'équité et la durabilité, ainsi que les incertitudes et les risques.

→ Q1.1

La détermination de ce qui constitue « une perturbation anthropique dangereuse du système climatique » repose sur une base qui variera selon les régions – en fonction de la nature locale et des conséquences des incidences des changements climatiques, ainsi que de la capacité d'adaptation à ces changements – et qui dépend de la capacité d'atténuation, étant donnée l'importance de l'ampleur et du rythme des changements. En l'absence de modèles universels, il est important d'évaluer la solidité des mesures politiques par rapport à divers scénarios de mondes futurs, et les possibilités d'intégration de ces politiques propres au climat dans des politiques de développement durable plus générales.

→ Q1.2

Le Troisième rapport d'évaluation (TRE) fournit aux décideurs une évaluation des nouvelles données scientifiques et des preuves susceptibles de les aider à déterminer ce qui constitue une « perturbation anthropique dangereuse du système climatique ». D'une part, il fournit de nouvelles prévisions sur les futures concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre, les profils des changements mondiaux et régionaux, le rythme des variations des températures, des précipitations, du niveau de la mer, et la modification des phénomènes climatiques extrêmes. Il examine également les risques de changements abrupts et irréversibles en ce qui concerne la circulation océanique et les inlandsis. D'autre part, il évalue les effets biophysiques et socio-économiques des changements climatiques, en ce qui concerne les risques pour des systèmes uniques et menacés, les risques associés aux phénomènes climatiques extrêmes, la distribution des incidences, les incidences mondiales et les risques de phénomènes à grande échelle et à effets importants. Enfin, il évalue les possibilités d'obtention d'une large fourchette de niveaux de concentrations atmosphériques

→ Q1.3–6

de gaz à effet de serre grâce à des mesures d'atténuation et à une information sur la contribution de l'adaptation à la réduction de la vulnérabilité.

Une vision mondiale des changements climatiques prend en compte les forces dynamiques présentes dans le cycle de causes et effets interdépendants pour tous les secteurs concernés (voir Figure RID-1). Le TRE fournit de nouvelles informations et preuves pertinentes au plan politique pour tous les secteurs représentés à la Figure RID-1. L'exploration de nouvelles voies de développement et des émissions connexes de gaz à effet de serre a constitué une nouvelle contribution importante du *Rapport spécial sur les scénarios d'émissions* (RSSE), et le TRE a évalué des travaux préliminaires sur les liens entre l'adaptation, l'atténuation et les voies de développement. Mais, en raison du caractère incomplet des connaissances, cette évaluation n'intègre pas la totalité des changements climatiques.

→ Q1.7

La prise de décisions concernant les changements climatiques est fondamentalement un processus séquentiel soumis à des incertitudes générales.

→ Q1.8

Le processus décisionnel doit tenir compte d'un certain nombre d'incertitudes, notamment le

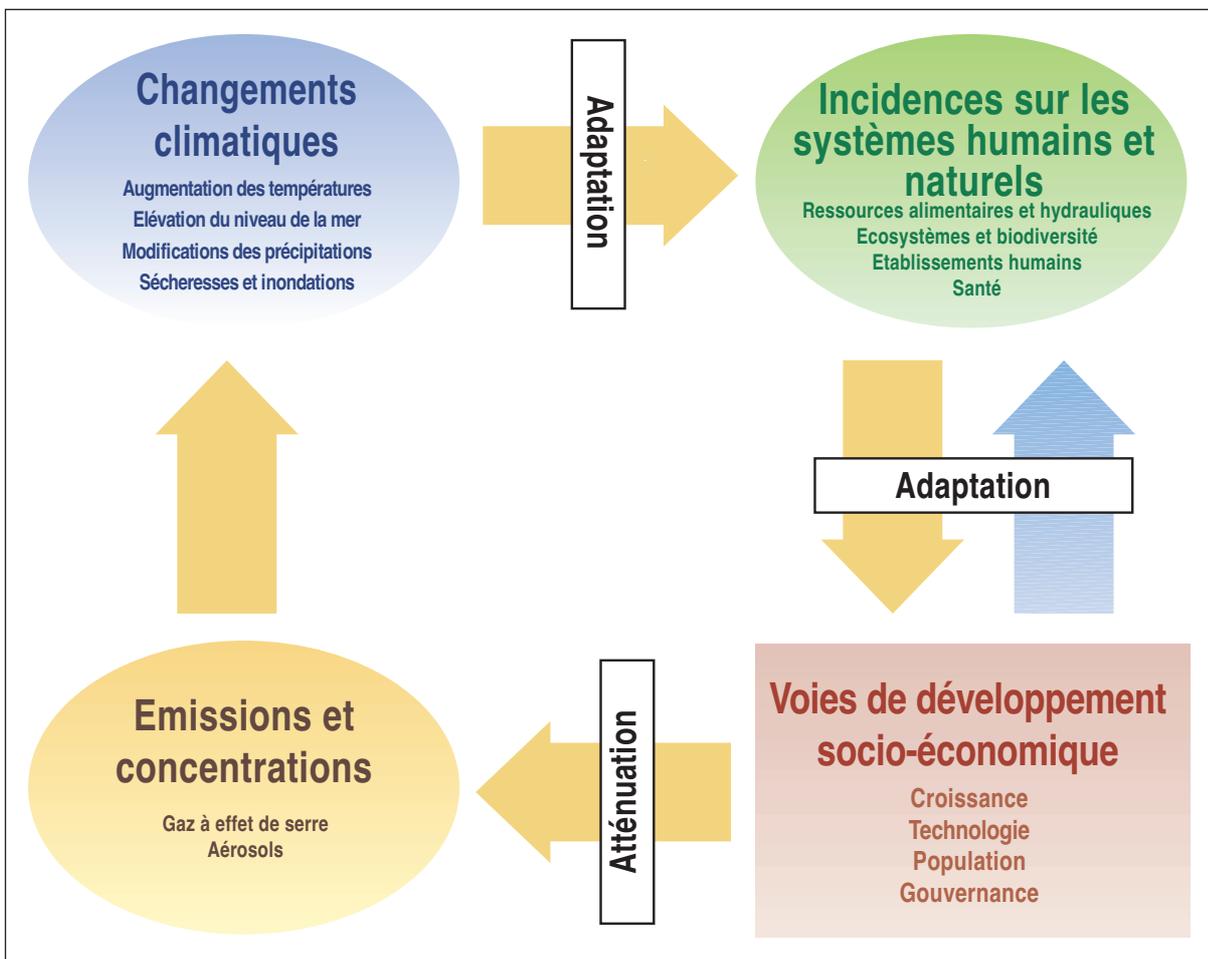


Figure RID-1 : Changements climatiques — un cadre intégré. Représentation schématique et simplifiée d'un cadre d'évaluation intégré pour l'étude des changements climatiques anthropiques. Les flèches jaunes indiquent le cycle de causes et effets dans les quatre secteurs représentés, et les flèches bleues indiquent la réponse sociétale aux effets des changements climatiques. Pour une description plus complète de ce cadre, voir la légende de la Figure 1-1.

→ Q1 Figure 1-1

risque de changements non linéaires et/ou irréversibles, et doit équilibrer les risques de mesures insuffisantes ou excessives, et examiner attentivement les conséquences (environnementales et économiques), leur probabilité et l'attitude de la société vis-à-vis des risques.

La question de l'évolution du climat s'inscrit dans le problème plus large du développement durable. Par conséquent, les politiques sur le climat peuvent être plus efficaces lorsqu'elles sont constamment intégrées dans des stratégies plus larges ayant pour objectif des voies de développement national et régional plus durables. En effet, les conséquences de la variabilité et des changements climatiques, les réponses politiques en matière de climat, et le développement socio-économique connexe influenceront sur la capacité des pays à atteindre des objectifs de développement durable. Réciproquement, la poursuite de ces objectifs influera sur les possibilités de politiques en matière de climat et sur leur succès. En particulier, les caractéristiques socio-économiques et technologiques des diverses voies de développement auront des effets considérables sur les émissions, le rythme et l'ampleur des changements climatiques, leurs incidences, et la capacité d'adaptation et d'atténuation.

→ Q1.9–10

Le TRE évalue les informations disponibles sur l'échelonnement dans le temps, les opportunités, les coûts, les bénéfices et les effets de diverses options d'atténuation et d'adaptation. Il indique l'existence d'opportunités qui permettraient aux pays, individuellement et conjointement, de réduire les coûts d'atténuation et d'adaptation et d'obtenir des bénéfices associés à un développement durable.

→ Q1.11

Question 2

Q2

Quelles sont les preuves, les causes et les conséquences des changements climatiques mondiaux depuis l'époque préindustrielle ?

- Le climat de la terre a-t-il évolué depuis l'époque préindustrielle à l'échelle régionale et/ou mondiale ? Auquel cas, quel est le pourcentage des changements observés attribuable aux activités humaines et quel est le pourcentage attribuable aux phénomènes naturels ? Sur quoi repose cette attribution ?
- Que sait-on des conséquences environnementales, sociales et économiques des changements climatiques depuis l'époque préindustrielle, et plus particulièrement au cours des cinquante dernières années ?

De toute évidence, le climat de la terre a évolué à l'échelle régionale et mondiale depuis l'époque préindustrielle, et certains aspects de cette évolution sont imputables aux activités humaines.

→ Q2.2

Depuis l'époque préindustrielle, les activités humaines ont augmenté les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Au cours des années 1990, les concentrations atmosphériques des principaux gaz à effet de serre anthropiques (à savoir, le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (N₂O) et l'ozone troposphérique (O₃) ont atteint leurs niveaux les plus hauts jamais enregistrés, principalement en raison de la combustion des combustibles fossiles, de l'agriculture et des changements d'affectation des terres (voir Tableau RID-1). Le forçage radiatif dû aux gaz à effet de serre anthropiques est positif, avec une petite fourchette d'incertitude ; celui des effets directs des aérosols est négatif et plus réduit ; et le forçage négatif dû aux effets indirects des aérosols sur les nuages, qui est peut être important, est mal quantifié.

→ Q2.4–5

Un nombre croissant d'observations dépeint partout un monde toujours plus chaud et d'autres modifications du système climatique (voir Tableau RID-1).

→ Q2.6

A l'échelle mondiale, très probablement, les années 1990 auront été la décennie la plus chaude, et 1998 l'année la plus chaude jamais mesurée (1861–2000) (voir Encadré RID-1). L'augmentation de la température à la surface au cours du XX^e siècle dans l'hémisphère Nord a été probablement plus importante qu'au cours de tout autre siècle du dernier millénaire (voir Tableau RID-1). Les données antérieures à 1860 pour l'hémisphère Sud sont insuffisantes pour permettre de comparer le réchauffement récent avec les changements survenus

→ Q2.7

Tableau 2-1 Changements atmosphériques, climatiques et biophysiques de la planète au cours du XX ^e siècle. ^a	
Indicateur	Changements observés
Indicateurs de concentration	
Concentration atmosphérique de CO ₂	De 280 ppm pour la période entre 1000 et 1750 à 368 ppm en 2000 (augmentation de 31±4 %).
Échanges de CO ₂ dans la biosphère terrestre	Source cumulée d'environ 20 Gt C entre 1800 et 2000 ; mais absorption nette par les puits de 14±7 Gt C environ au cours des années 1990.
Concentration atmosphérique de CH ₄	De 700 ppb pour la période entre 1000 et 1750 à 1 750 ppb en 2000 (augmentation de 151±25 %).
Concentration atmosphérique de N ₂ O	De 270 ppb pour la période entre 1000 et 1750 à 316 ppb en 2000 (augmentation de 17±5 %).
Concentration troposphérique de O ₃	Augmentation de 35±15 % entre 1750 et 2000 ; variable selon les régions.
Concentration stratosphérique de O ₃	Diminution entre 1970 et 2000 ; variable avec l'altitude et la latitude.
Concentration atmosphérique de HFC, PFC et SF ₆	Augmentation mondiale au cours des cinquante dernières années.
Indicateurs climatiques	
Température moyenne mondiale à la surface	Augmentation de 0,6±0,2 °C au cours du XX ^e siècle ; réchauffement plus important des zones terrestres que des océans (<i>très probable</i>).
Température à la surface dans l'hémisphère Nord	Augmentation au cours du XX ^e siècle plus importante qu'au cours de tout autre siècle du dernier millénaire ; années 1990 : décennie la plus chaude du millénaire (<i>probable</i>).
Fourchette de températures à la surface diurnes	Diminution entre 1950 et 2000 sur les zones terrestres ; augmentation deux fois plus rapide des températures minimales nocturnes que des températures maximales diurnes (<i>probable</i>).
Jours chauds/indice de chaleur	Augmentation (<i>probable</i>).
Jours froids/de gel	Diminution pour la quasi totalité des zones terrestres au cours du XX ^e siècle (<i>très probable</i>).
Précipitations continentales	Augmentation de 5 à 10 % au cours du XX ^e siècle dans l'hémisphère Nord (<i>très probable</i>), mais diminution sur certaines régions (Afrique du Nord et occidentale et certaines parties de la Méditerranée, par exemple).
Fortes précipitations	Augmentation aux latitudes nord moyennes et supérieures (<i>probable</i>).
Fréquence et intensité de la sécheresse	Absence accrue de précipitations en été et augmentation de la sécheresse associée dans quelques zones (<i>probable</i>). Dans certaines régions, telles que certaines parties de l'Asie et de l'Afrique, on a observé une augmentation de la fréquence et de l'intensité de la sécheresse au cours des dernières décennies.



Encadré RID-1	Indications de confiance et de probabilité.
<p>Dans certains cas, les auteurs du Troisième rapport d'évaluation ont attribué des niveaux de confiance représentant leur jugement collectif quant à la validité d'une conclusion basée sur des observations, des résultats de modélisation et des théories étudiées. Les termes suivants ont été utilisés dans le texte du Rapport de synthèse au TRE au sujet des observations du GTI : <i>pratiquement certain</i> (plus de 99 % de probabilité qu'un résultat soit vrai) ; <i>très probable</i> (90 à 99 % de probabilité) ; <i>probable</i> (66 à 90 % de probabilité) ; <i>moyennement probable</i> (33 à 66 % de probabilité) ; <i>peu probable</i> (10 à 33 % de probabilité) ; <i>très peu probable</i> (1 à 10 % de probabilité) ; et <i>extrêmement peu probable</i> (moins de 1 % de probabilité). Une fourchette d'incertitude explicite (±) est une fourchette <i>probable</i>. Les estimations de confiance concernant les résultats du GTII sont les suivantes : <i>très élevée</i> (95 % ou plus), <i>élevée</i> (67 à 95 %), <i>moyenne</i> (33 à 67 %), <i>faible</i> (5 à 33 %) et <i>très faible</i> (5 % ou moins). Aucun niveau de confiance n'a été attribué dans le GTIII.</p>	



Q2 Encadré 2-1

au cours du dernier millénaire. Les variations de température n'ont pas été uniformes à l'échelle mondiale, mais ont varié selon les régions et les zones de l'atmosphère inférieure.

Tableau RID-1 Changements atmosphériques, climatiques et biophysiques de la planète au cours du XX ^e siècle. ^a (suite)	
Indicateur	Changements observés
<i>Indicateurs biologiques et physiques</i>	
Niveau moyen de la mer à l'échelle mondiale	Augmentation à un taux annuel moyen de 1 à 2 mm au cours du XX ^e siècle.
Durée du gel des fleuves et lacs	Diminution de deux semaines environ au cours du XX ^e siècle aux latitudes moyennes et supérieures de l'hémisphère Nord (<i>très probable</i>).
Superficie et épaisseur de la glace marine arctique	Diminution de 40 % de l'épaisseur au cours des récentes décennies, de la fin de l'été au début de l'automne (<i>probable</i>) et diminution de la superficie de 10 à 15 % depuis les années 1950, au printemps et en été.
Glaciers non polaires	Régression étendue au cours du XX ^e siècle.
Couverture neigeuse	Diminution de 10 % de la superficie, observée depuis la mise en œuvre d'observations mondiales par satellites au cours des 1960 (<i>très probable</i>).
Pergélisol	Fonte, réchauffement et dégradation dans certaines parties des régions polaires, sub-polaires et montagneuses.
Phénomènes El Niño	Plus fréquents, plus longs et plus intenses au cours des vingt à trente dernières années, par rapport aux cent ans antérieurs.
Saison de croissance	Plus longue de un à quatre jours environ par décennie au cours des quarante dernières années dans l'hémisphère Nord, en particulier aux latitudes supérieures.
Espèces végétales et animales	Déplacement vers les pôles et en altitude dans le cas des plantes, insectes, oiseaux et poissons.
Reproduction, floraison et migration	Floraison plus précoce, retour plus précoce des oiseaux, dates de saison de reproduction plus précoces et apparition plus précoce des insectes dans l'hémisphère Nord.
Blanchissement des récifs coralliens	Plus fréquente, notamment pendant les phénomènes El Niño.
<i>Indicateurs économiques</i>	
Pertes économiques liées au climat	Augmentation de plus d'un ordre de grandeur des pertes indexées mondiales au cours des quarante dernières années (voir Q2 Figure 2-7). Cette augmentation observée est liée en partie à des facteurs socio-économiques et en partie à des facteurs climatiques.
^a Ce tableau contient des exemples de changements clés observés et n'est pas une liste exhaustive. Il comprend des changements dus à des changements climatiques anthropiques et ceux pouvant résulter de variations climatiques naturelles ou de changements climatiques anthropiques. Les niveaux de confiance sont indiqués lorsqu'ils ont fait l'objet d'une évaluation explicite par le Groupe de travail pertinent. Un tableau identique dans le Rapport de synthèse contient des références croisées avec les rapports GTI et GTII.	

Des preuves plus récentes et plus concluantes permettent de dire que la majeure partie du réchauffement observé au cours des cinquante dernières années est due aux activités humaines.

Des études de détection et d'attribution mettent constamment en lumière les preuves d'un signal anthropique dans les données climatiques des 35 à 50 dernières années. Ces études intègrent les incertitudes concernant le forçage dû aux aérosols sulfatés anthropiques et aux facteurs naturels (volcans et rayonnement solaire), mais n'expliquent pas les effets d'autres types d'aérosols anthropiques et du changement d'affectation des terres. Le forçage dû aux aérosols sulfatés et le forçage naturel sont négatifs pour cette période et n'expliquent pas le réchauffement ; alors que la plupart de ces études constatent qu'au cours des cinquante dernières années, les estimations du rythme et de l'ampleur du réchauffement dû uniquement à l'augmentation des gaz à effet de serre sont comparables ou supérieures au réchauffement observé. C'est lorsque tous les facteurs de forçages anthropiques et naturels sont combinés, comme indiqué à la Figure RID-2, que l'on obtient la meilleure concordance entre les simulations et les observations au cours des 140 ans passés.

→ Q2.9-11

Les changements concernant le niveau de la mer, la couverture neigeuse, la superficie des glaces et les précipitations sont révélateurs d'un réchauffement du climat près de la surface de la terre.

Ces changements incluent, par exemple, un cycle hydrologique plus actif avec augmentation des fortes précipitations et des modifications des profils des précipitations, la régression généralisée des glaciers non polaires, l'élévation du niveau de la mer et l'augmentation du contenu thermique des océans, et la diminution de la

→ Q2.12-19

Comparaison entre la modélisation et les observations de l'augmentation des températures depuis 1860

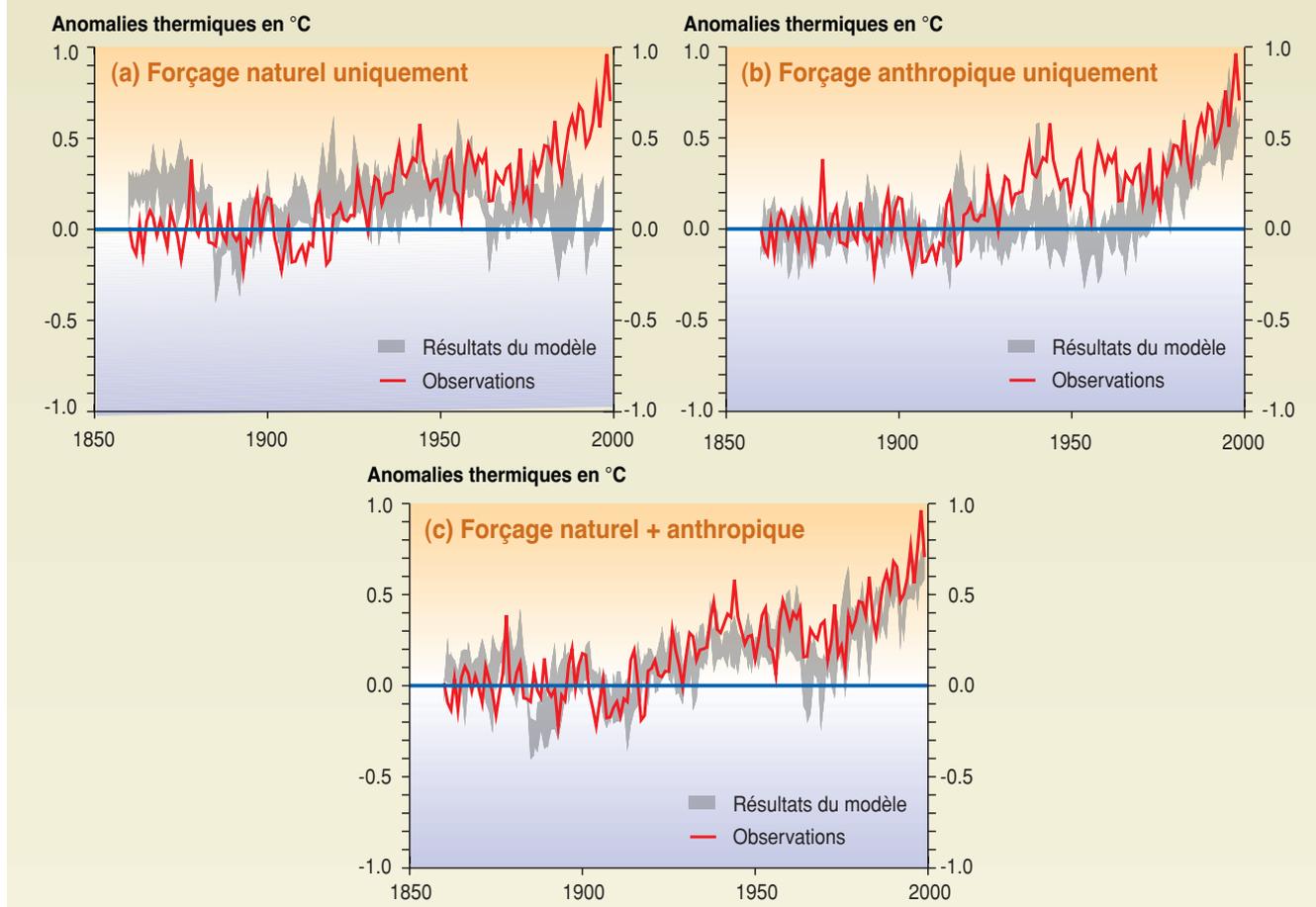


Figure RID-2 : La simulation des variations des températures de la terre (°C) et la comparaison des résultats avec les changements mesurés peuvent fournir des indications sur les causes sous-jacentes des changements majeurs. On peut utiliser un modèle climatique pour simuler les variations de température d'origine naturelle et anthropique. Les simulations représentées dans la zone dans (a) ont été effectuées uniquement avec des forçages naturels : variation solaire et activité volcanique. Celles comprises dans la zone de (b) ont été effectuées avec des forçages anthropiques : gaz à effet de serre et estimation des aérosols sulfatés. Enfin, celles comprises dans la zone de (c) associent les forçages naturels et anthropiques. (b) permet de constater que l'inclusion des forçages anthropiques fournit une explication plausible pour une partie importante des variations de température observées au cours des cent dernières années ; mais c'est (c), qui associe les facteurs naturels et anthropiques, qui correspond le mieux aux observations. Ces résultats montrent que les forçages inclus suffisent pour expliquer les variations observées, sans toutefois exclure la possibilité d'intervention d'autres forçages.

→ Q2 Figure 2-4

superficie et de l'épaisseur de la couverture neigeuse et de la glace marine (Voir Tableau RID-1). Il est très probable, par exemple, que le réchauffement du XX^e siècle ait contribué sensiblement à l'élévation observée du niveau de la mer, du fait de la dilatation thermique de l'eau de mer et de la régression généralisée de la glace terrestre. Sous réserve des incertitudes actuelles, les observations et les modèles confirment l'absence d'accélération significative de l'élévation du niveau de la mer au cours du XX^e siècle. Il n'existe pas de changements prouvés pour ce qui est de la superficie générale de la glace marine antarctique pour la période entre 1978 et 2000. En outre, en raison d'analyses contradictoires et de données insuffisantes, il n'est pas possible d'évaluer la modification de l'intensité des cyclones tropicaux et extratropicaux et des fortes tempêtes locales aux latitudes moyennes. Certains changements observés sont régionaux et certains peuvent résulter de variations climatiques internes, de forçages naturels ou d'activités humaines régionales, et non pas exclusivement d'une influence humaine mondiale.

Les changements climatiques régionaux observés ont eu des incidences sur nombre de systèmes physiques et biologiques, et, si l'on en juge par certaines indications préliminaires, sur les systèmes socio-économiques.

→ Q2.20 & Q2.25

Des changements climatiques régionaux récents, en particulier des augmentations de température, ont déjà eu des effets sur les systèmes hydrologiques et les écosystèmes terrestres et marins dans nombre de régions à travers le monde (voir Tableau RID-1). Les changements observés au sein de ces systèmes¹ sont cohérents pour des lieux et/ou des régions différents et vont dans le sens des effets prévus des variations de température régionales. La probabilité selon laquelle les changements observés se produiraient par hasard dans le sens prévu (sans référence à l'ampleur) est infime.

→ Q2.21-24

Les coûts socio-économiques croissants liés à la détérioration du climat et aux variations climatiques régionales semblent indiquer une vulnérabilité croissante aux changements climatiques. Selon des premières indications, il semblerait que certains systèmes socio-économiques aient subi les effets de l'accroissement récent des inondations et de la sécheresse, avec une augmentation des pertes économiques dues à des phénomènes climatiques catastrophiques. Mais, étant donné que ces systèmes subissent également les effets de l'évolution des facteurs socio-économiques, tels que les variations démographiques et le changement d'affectation des terres, il est difficile de quantifier les incidences relatives des changements climatiques (anthropiques ou naturels) et des facteurs socio-économiques.

→ Q2.25-26

Question 3

Q3

Que sait-on des conséquences climatiques, environnementales et socio-économiques régionales et mondiales au cours des 25, 50 et 100 prochaines années, en conjonction avec une fourchette d'émissions de gaz à effet de serre prévue par des scénarios utilisés dans le TRE (prévisions sans mesures d'intervention climatiques) ?

Dans la mesure du possible, évaluer :

- les changements prévus des concentrations atmosphériques, du climat et du niveau de la mer ;
- les incidences et les coûts et bénéfices économiques des changements climatiques et de la composition de l'atmosphère sur la santé, la diversité et la productivité des écosystèmes, et les secteurs socio-économiques (en particulier l'agriculture et l'eau) ;
- les diverses options d'adaptation, y compris leurs coûts, bénéfices et problèmes ;
- les questions de développement, durabilité et équité associées aux conséquences et à l'adaptation à l'échelle régionale et mondiale.

Tous les scénarios d'émissions du GIEC prévoient une augmentation des concentrations de dioxyde de carbone, et une élévation de la température moyenne mondiale à la surface, et du niveau de la mer au cours du XXI^e siècle².

→ Q3.2

¹ Il existe quarante-quatre études régionales concernant plus de quatre cents plantes et animaux, et portant sur vingt à cinquante ans, effectuées principalement en Amérique du Nord, en Europe et dans la région polaire australe, ainsi que seize études régionales sur une centaine de processus physiques dans la plupart des régions du monde, et portant sur vingt à cent cinquante ans.

² Les prévisions concernant la variabilité climatique, les phénomènes extrêmes et les changements abrupts/non linéaires sont examinées à la Question 4.

Dans le cas des six scénarios d'illustration du RSSE, la concentration prévue de CO₂, le principal gaz à effet de serre anthropique, pour 2100 se situe entre 540 et 970 ppm, alors qu'elle était de 280 ppm environ pour la période préindustrielle et 368 ppm environ en l'an 2000. Diverses hypothèses socio-économiques (démographiques, sociales, économiques et technologiques) sont à l'origine des différents niveaux des futurs gaz à effet de serre et aérosols. Pour chaque scénario, d'autres incertitudes, notamment à propos de la poursuite des processus d'absorption actuels (puits de carbone) et de l'ampleur de la rétroaction climatique sur la biosphère terrestre, causent une variation de -10 à +30 % pour la concentration en 2100. On obtient donc une fourchette totale entre 490 et 1 260 ppm (75 à 350 % supérieure à la concentration pour 1750 (époque préindustrielle). Selon les prévisions, d'ici 2100, les concentrations des principaux gaz à effet de serre sans CO₂ devraient varier considérablement pour les six scénarios du RSSE (voir Figure RID-3).

→ Q3.3-5

Les projections utilisant les scénarios d'émissions du RSSE dans divers modèles climatiques mettent en évidence une augmentation de la température moyenne mondiale à la surface de 1,4 à 5,8 °C entre 1990 et 2100. Cette valeur est environ deux à dix fois plus grande que la valeur type du réchauffement observé au cours du XX^e siècle, et le rythme du réchauffement prévu sera très probablement sans précédent, au moins au cours des dix derniers millénaires, si l'on se réfère aux données paléoclimatiques. Les augmentations de température devraient être supérieures à celles prévues dans le Deuxième rapport d'évaluation (DRE) qui étaient de l'ordre de 1,0 à 3,5°C, calculé à partir de six scénarios IS92. Ces températures plus élevées et la fourchette plus large s'expliquent principalement par le fait que les scénarios du RSSE prévoient des émissions de dioxyde de soufre (SO₂) plus faibles que celles prévues dans les scénarios IS92. Pour les périodes 1990 à 2025 et 1990 à 2050, les augmentations prévues sont de 0,4 à 1,1°C et 0,8 à 2,6°C respectivement. D'ici 2100, la fourchette des réponses de températures à la surface pour différents modèles climatiques pour le même scénario d'émissions est comparable à la fourchette pour différents scénarios d'émissions du RSSE pour un modèle climatique unique. Comme indiqué à la Figure RID-3, les scénarios du RSSE contenant les émissions les plus élevées produisent les plus importantes augmentations de températures. Pratiquement toutes les zones terrestres connaîtront très probablement un réchauffement supérieur à ces moyennes mondiales, surtout en hiver, pour les zones situées à des latitudes nord supérieures.

→ Q3.6-7 & Q3.11

Les précipitations moyennes annuelles à l'échelle mondiale devraient augmenter au cours du XXI^e siècle, même si à l'échelle régionale, les augmentations et diminutions prévues sont de l'ordre de 5 à 20 %. Il est probable que les précipitations augmenteront en été et en hiver sur les régions aux latitudes supérieures. Des augmentations sont également prévues en hiver pour les latitudes nord moyennes, en Afrique tropicale et en Antarctique, et en été en Asie australe et orientale. Des diminutions des précipitations hivernales sont prévues pour l'Australie, l'Amérique centrale et l'Afrique australe. Très probablement, les variations des précipitations interannuelles seront plus importantes sur la plupart des régions pour lesquelles on prévoit une augmentation des précipitations moyennes.

→ Q3.8 & Q3.12

Selon les prévisions, la régression généralisée des glaciers devrait se poursuivre au cours du XXI^e siècle. Dans l'hémisphère Nord, la couverture neigeuse, le pergélisol et la superficie de la glace marine devraient continuer de diminuer. La masse de l'inlandsis antarctique devrait augmenter, alors que celle de l'inlandsis groenlandais devrait diminuer (voir Question 4).

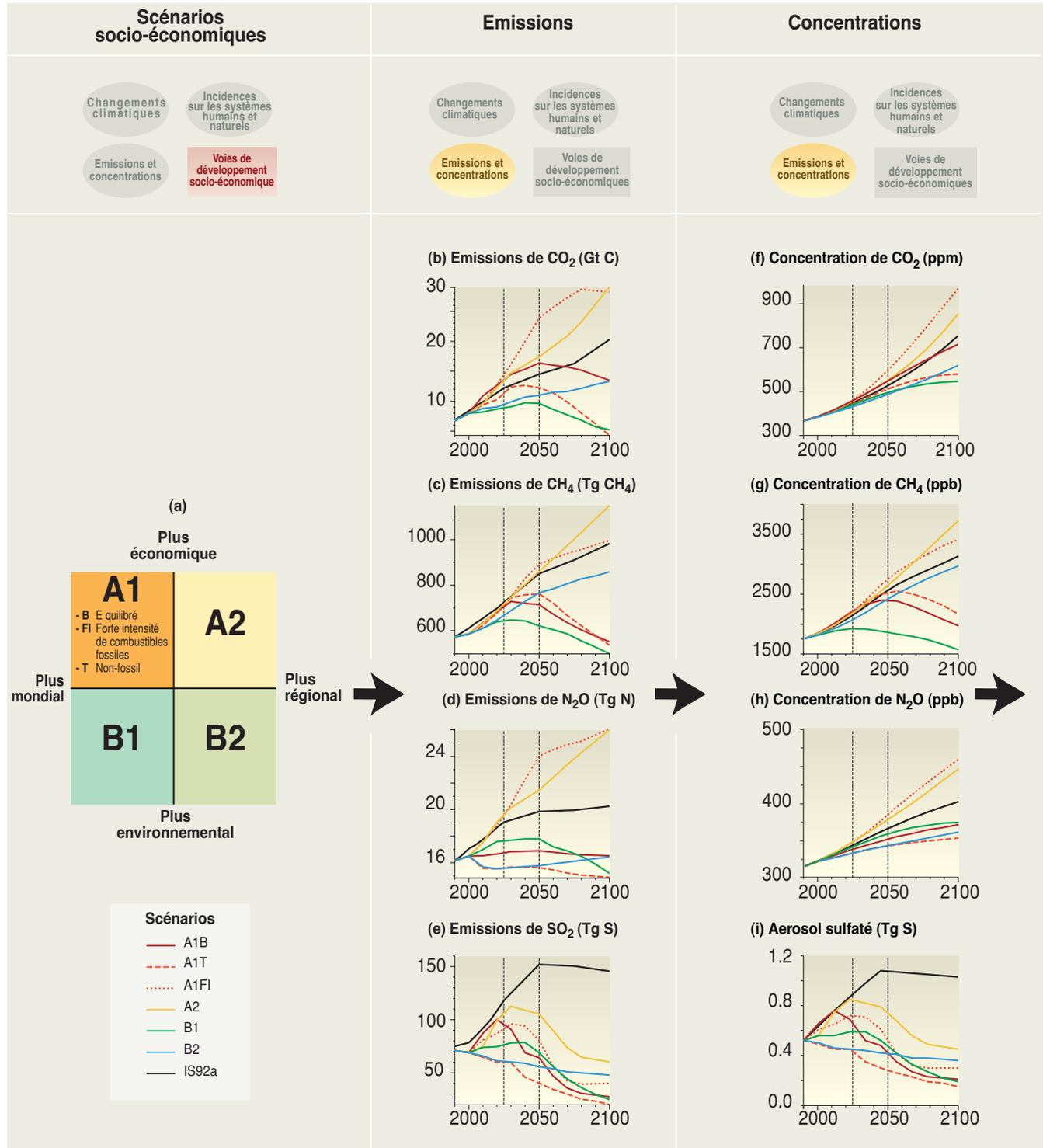
→ Q3.14

Le niveau moyen de la mer à l'échelle mondiale devrait augmenter de 0,09 à 0,88 m entre 1990 et 2100, pour tous les scénarios du RSSE, avec cependant des variations régionales notables. Cette augmentation est due principalement à la dilatation thermique des océans et à la fonte des glaciers et des calottes polaires. Les augmentations prévues pour les périodes 1990-2025 et 1990-2050 sont de 0,03 à 0,14 m et 0,05 à 0,32 m respectivement.

→ Q3.9 & Q3.13

Les changements climatiques prévus auront des effets bénéfiques et néfastes sur les systèmes environnementaux et socio-économiques, mais plus l'ampleur et le rythme de ces changements seront importants, plus les effets néfastes prédomineront.

→ Q3.15



A1FI, A1T et A1B

Le canevas et la famille de scénarios A1 décrivent un monde futur dans lequel la croissance économique sera très rapide, la population mondiale culminera au milieu du siècle pour décliner par la suite, et de nouvelles technologies plus efficaces seront introduites rapidement. Les principaux thèmes sous-jacents sont la convergence entre les régions, le renforcement des capacités et des

interactions culturelles et sociales accrues, avec une réduction substantielle des différences régionales dans le revenu par habitant. La famille de scénario A1 se scinde en trois groupes qui décrivent des directions possibles de l'évolution technologique dans le système énergétique. Les trois groupes A1 se distinguent par leur accent technologique : forte intensité de combustibles fossiles

(A1FI), sources d'énergie autres que fossiles (A1T) ou équilibré entre les sources (A1B) (dans lequel « équilibré » est défini comme ne s'appuyant pas excessivement sur une source d'énergie particulière, en supposant que des taux d'amélioration similaires s'appliquent à toutes les technologies de l'approvisionnement énergétique et des utilisations finales).

Forçage radiatif

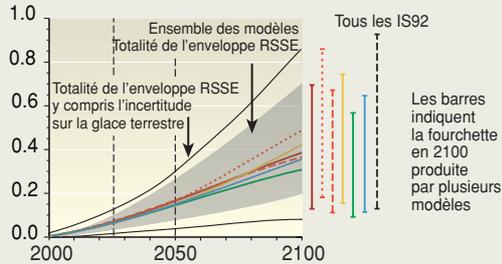
Changement de la température et du niveau de la mer

Motifs d'inquiétude

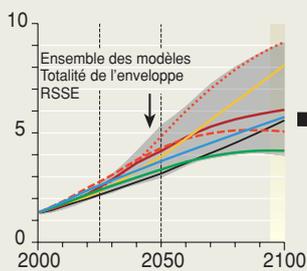


- Scénarios**
- A1B
 - - - A1T
 - ... A1FI
 - A2
 - B1
 - B2
 - IS92a

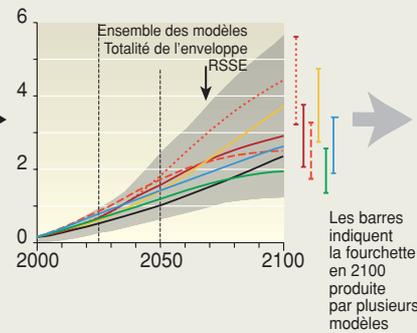
(l) Elévation du niveau de la mer (m)



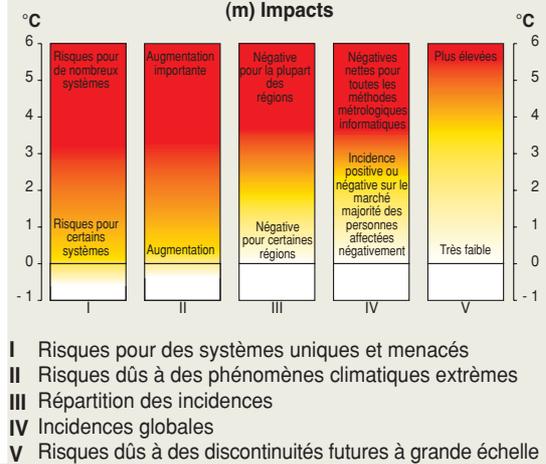
(j) Forçage radiatif (Wm⁻²)



(k) Variation des températures (°C)



Motifs d'inquiétude (m) Impacts



A2

Le canevas et la famille de scénarios A2 décrivent un monde très hétérogène. Le thème sous-jacent est l'autosuffisance et la préservation des identités locales. Les schémas de fécondité entre les régions convergent très lentement, avec pour résultat un accroissement continu de la population. Le développement économique a une orientation principalement régionale, et la croissance économique par habitant et l'évolution technologique sont plus fragmentées et plus lentes que dans les autres canevas.

B1

Le canevas et la famille de scénarios B1 décrivent un monde convergent avec la même population mondiale culminant au milieu du siècle et déclinant par la suite, comme dans le canevas A1, mais avec des changements rapides dans les structures économiques vers une économie de services et d'information, avec des réductions dans l'intensité des matériaux et l'introduction de technologies propres et utilisant des ressources efficacement. L'accent est mis sur des solutions mondiales orientées vers une viabilité économique, sociale et environnementale, y compris une meilleure équité, mais sans initiatives supplémentaires pour gérer le climat.

B2

Le canevas et la famille de scénarios B2 décrivent un monde où l'accent est mis sur des solutions locales dans le sens de la viabilité économique, sociale et environnementale. La population mondiale s'accroît de manière continue, mais à un rythme plus faible que dans le canevas A2 ; il y a des niveaux intermédiaires de développement économique, et l'évolution technologique est moins rapide et plus diverse que dans les canevas B1 et A1. Le scénario est également orienté vers la protection de l'environnement et l'équité sociale, mais il est axé sur des niveaux locaux et régionaux.

Figure RID-3 : Les différentes suppositions socio-économiques sous-jacentes aux scénarios du RSSE donnent différents niveaux d'émissions futures de gaz à effet de serre et d'aérosols.

➔ Q3 Figure 3-1

A leur tour, ces émissions modifient la concentration de ces gaz et aérosols dans l'atmosphère, ce qui modifie le forçage radiatif du climat. Le forçage radiatif dû aux scénarios du RSSE a pour effet une élévation des températures et du niveau de la mer, changements qui auront eux-mêmes des répercussions. Les scénarios du RSSE n'incluent pas de mesures d'intervention supplémentaires pour gérer le climat et n'attribuent pas de valeur de probabilité. Les scénarios du RSSE n'ayant été disponibles que très peu de temps avant l'établissement du TRE, les résultats des modèles climatiques utilisés ici pour les évaluations des incidences sont généralement basés sur des scénarios de changements climatiques à l'état d'équilibre (doublement du CO₂, par exemple), un nombre relativement faible d'expériences utilisant un scénario transitoire d'augmentation annuelle du CO₂ de 1 %, ou sur les scénarios utilisés dans le DRE (série IS92). A leur tour, les incidences peuvent influencer sur les voies de développement socio-économique, par le biais, par exemple, de mesures d'adaptation et d'atténuation. Les parties en surbrillance dans la partie supérieure de la figure indiquent les rapports existant entre les divers aspects et le cadre d'évaluation intégré pour l'étude des changements climatiques (voir Figure RID-1).

Les effets néfastes seront plus graves dans le cas d'émissions cumulées de gaz à effet de serre et de changements climatiques connexes plus importants (confiance moyenne). Des changements climatiques mineurs peuvent avoir des effets bénéfiques pour certaines régions et certains secteurs, mais il est probable que ces effets diminuent avec l'augmentation de l'ampleur des changements climatiques. Par contre, il est probable que l'ampleur et la gravité d'un grand nombre d'effets néfastes observés augmentent avec l'importance des changements climatiques. Dans le cas des projections à l'échelle régionale, les effets néfastes devraient prédominer pour une grande partie du monde, en particulier dans les régions tropicales et subtropicales.

→ Q3.16

Dans l'ensemble, les changements climatiques devraient accroître les risques pour la santé, en particulier pour les populations à faibles revenus, principalement dans les pays tropicaux/subtropicaux. Les changements climatiques peuvent influencer directement sur la santé (diminution du stress dû au froid dans les pays tempérés, mais augmentation du stress dû à la chaleur, pertes de vies humaines au cours d'inondations et de tempêtes, par exemple), et indirectement suite à la modification des vecteurs de maladies (moustiques, par exemple)³, des pathogènes hydriques, de la qualité de l'eau et de l'air et de la disponibilité et de la qualité des denrées alimentaires (*confiance moyenne à élevée*). Les incidences réelles sur la santé seront largement fonction des conditions environnementales locales et du contexte socio-économique, ainsi que des mesures d'adaptation sociales, institutionnelles, technologiques et comportementales prises pour réduire l'ensemble des risques sanitaires.

→ Q3.17

Les changements climatiques et l'élévation du niveau de la mer modifieront la productivité écologique et la biodiversité, et il y aura accroissement du risque d'extinction de certaines espèces vulnérables (confiance élevée à moyenne). On prévoit l'augmentation de perturbations importantes des écosystèmes, dues, par exemple, aux incendies, sécheresses, infestations parasitaires, invasions d'espèces, tempêtes et au blanchissement corallien. Lorsqu'elles viennent s'ajouter aux autres contraintes sur les écosystèmes, les contraintes dues aux changements climatiques risquent d'endommager profondément des systèmes uniques ou de contribuer à leur disparition et à l'extinction d'espèces menacées. La productivité nette des végétaux augmentera sous l'effet des concentrations croissantes de CO₂, mais l'évolution climatique et la modification des régimes de perturbations liée à cette évolution pourront entraîner une augmentation ou une diminution de la productivité nette des écosystèmes (*confiance moyenne*). Selon certains modèles à l'échelle mondiale, l'absorption nette de carbone par les écosystèmes terrestres devrait augmenter pendant la première moitié du XXI^e siècle, avant de se stabiliser ou de diminuer.

→ Q3.18-20

Des modèles de cultures céréalières indiquent que, dans certaines zones tempérées, les rendements potentiels augmentent dans le cas de faibles augmentations de température, mais diminuent lorsque ces variations sont importantes (confiance moyenne à faible). Dans la plupart des régions tropicales et subtropicales, dans la majorité des cas, les augmentations de températures prévues devraient entraîner une baisse de la productivité agricole (confiance moyenne). Les effets néfastes sur les rendements agricoles seraient encore plus marqués pour les systèmes subtropicaux et tropicaux arides/pluviaux où l'on observe également une diminution importante des précipitations. Ces évaluations tiennent compte de certaines mesures d'adaptation prises par les agriculteurs et des effets de la fertilisation par le CO₂, mais pas des impacts de l'accroissement prévu des infestations parasitaires et de l'évolution des extrêmes climatiques. La capacité d'adaptation des éleveurs face aux stress physiologiques liés aux changements climatiques est mal documentée. Selon les prévisions, un réchauffement de quelques (« a few ») °C ou plus entraînerait une augmentation des prix des denrées alimentaires à l'échelle mondiale et pourrait renforcer les risques de famine pour les populations vulnérables.

→ Q3.21

³ Huit études ont simulé les effets des changements climatiques sur ces maladies, cinq sur le paludisme et trois sur la dengue. Sept d'entre elles utilisent une méthode biologique ou à base de processus, la huitième utilisant une méthode statistique empirique.

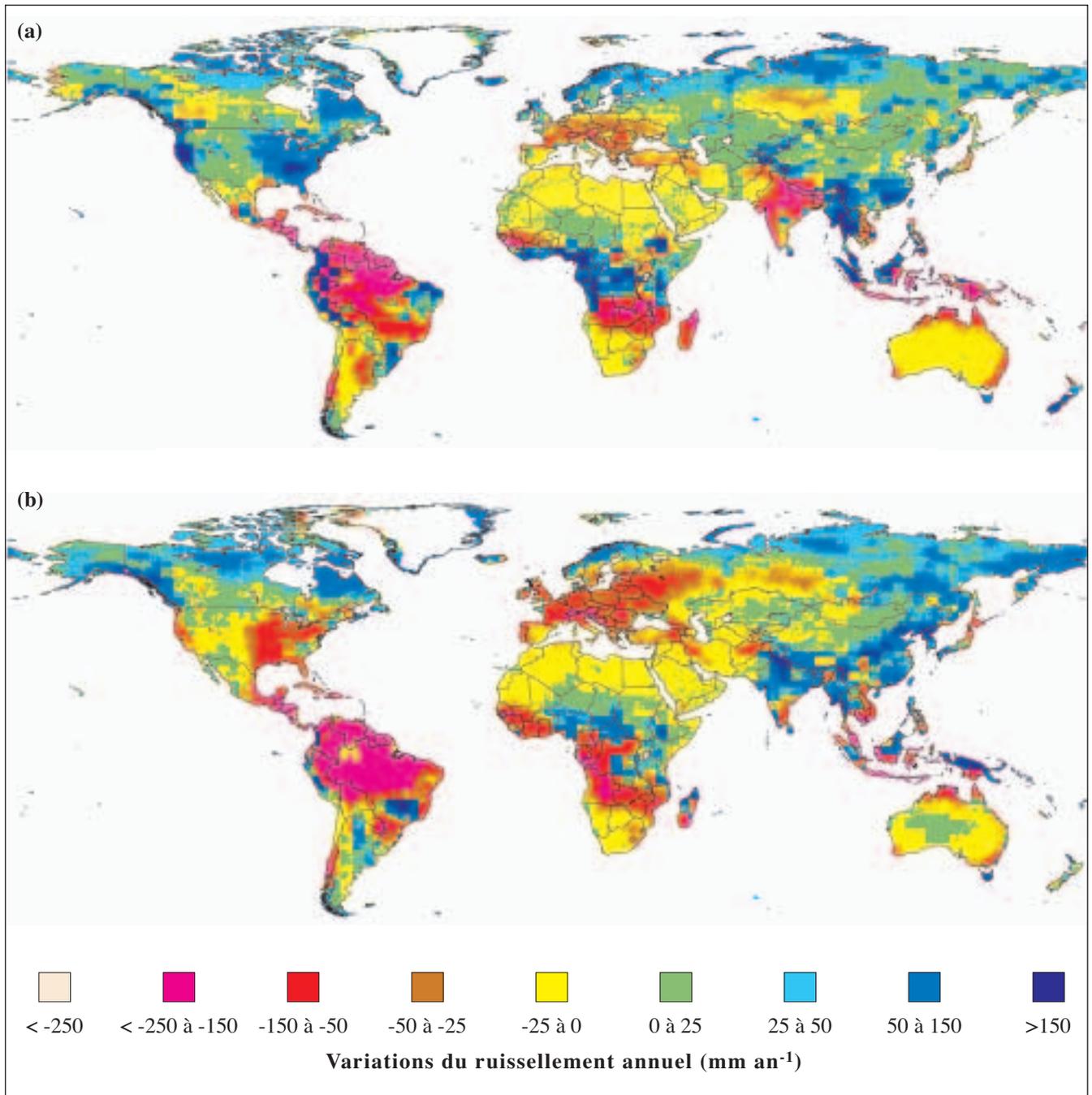


Figure RID-4 : Comparées au ruissellement moyen pour les années 1961–1990, les prévisions des changements du ruissellement annuel moyen d’ici 2050 correspondent en grande partie aux changements prévus pour les précipitations.

→ Q3 Figure 3–5

Les variations du ruissellement sont calculées à l’aide d’un modèle hydrologique utilisant des projections climatiques provenant de deux versions du modèle de circulation générale atmosphère/océans du Hadley Centre (AOGCM) pour un scénario avec 1 % d’augmentation annuelle effective de la concentration de CO_2 dans l’atmosphère : (a) moyenne d’ensemble HadCM2 et (b) HadCM3. Les projections d’augmentation du ruissellement aux hautes latitudes et en Asie du Sud-Est et de diminution en Asie Centrale, autour de la Méditerranée, en Afrique australe, et en Australie sont, dans l’ensemble, cohérentes pour les expériences du Hadley Centre, et par rapport aux projections de précipitations d’autres expériences du AOGCM. Pour d’autres parties du monde, les variations des précipitations et du ruissellement dépendent des scénarios et des modèles.

Dans nombre de régions aréiques, la pénurie d’eau sera aggravée par les changements climatiques.

→ Q3.22

En général, les besoins hydriques augmentent en raison de la croissance démographique et du développement économique, bien qu’ils diminuent dans certains pays en raison d’une gestion plus efficace. Les changements climatiques devraient diminuer considérablement les ressources en eau disponibles (comme l’indiquent les projections

concernant le ruissellement) dans un grand nombre de régions aréiques, mais pourraient les augmenter dans d'autres régions (*confiance moyenne*) (voir Figure RID-4). En général, une hausse des températures de l'eau devrait nuire à la qualité de l'eau douce (*confiance élevée*), bien que, dans certaines régions, ceci puisse être compensé par des débits plus importants.

Les incidences mondiales sur le secteur du marché, mesurées par les variations du produit intérieur brut (PIB), devraient être négatives pour un grand nombre de pays en développement pour toutes les fourchettes d'augmentation des températures moyennes mondiales étudiées (*confiance faible*), mixtes pour les pays développés dans le cas d'un réchauffement de quelques (« a few ») °C (*confiance faible*) et négatives dans le cas d'un réchauffement de plus de quelques (« a few ») degrés (*confiance moyenne à faible*). En général, ces estimations n'incluent pas les effets des modifications de la variabilité et des extrêmes climatiques, ne tiennent pas compte des effets de la variabilité du rythme des changements climatiques, n'expliquent que partiellement les répercussions sur les biens et les services non commercialisés, et estiment que, dans certains cas, les pertes sont compensées par les gains.

→ Q3.25

Les populations des petites îles et/ou des zones côtières de faible élévation sont particulièrement menacées par le risque d'effets socio-économiques graves résultant de l'élévation du niveau de la mer et des ondes de tempêtes. Nombre d'établissements humains seront confrontés à un risque croissant d'inondations et d'érosion côtière, et des dizaines de millions de personnes vivant dans des deltas, dans des zones côtières de faible élévation et sur de petites îles devront peut-être quitter leur région. Des ressources indispensables aux populations insulaires et côtières, telles que les plages, l'eau douce, les pêcheries, les récifs coralliens et les habitats de la faune, seraient également menacées.

→ Q3.23

Les effets de l'évolution climatique s'exerceront de façon disproportionnée sur les pays en développement et les populations déshéritées dans tous les pays, renforçant ainsi les inégalités en matière de santé et d'accès à une alimentation adéquate, à l'eau potable et à d'autres ressources. En général, les populations dans les pays en développement sont exposées à des risques relativement élevés d'effets néfastes des changements climatiques. En outre, en raison de la pauvreté et d'autres facteurs, la plupart des pays en développement ont des capacités d'adaptation très limitées.

→ Q3.33

Potentiellement, l'adaptation peut réduire les effets néfastes des changements climatiques et permet souvent d'obtenir des bénéfices accessoires immédiats, sans toutefois prévenir tous les dommages.

→ Q3.26

Face à l'évolution du climat, il existe de nombreuses possibilités d'adaptation qui pourront contribuer à réduire les effets néfastes et renforcer les effets bénéfiques des changements climatiques, mais qui généreront des coûts. L'évaluation quantitative de leurs bénéfices et coûts et de leur variabilité pour les régions et les entités est incomplète.

→ Q3.27

L'adaptation serait plus difficile dans le cas de changements climatiques plus importants et plus rapides et ceux-ci seraient potentiellement plus dangereux que des changements climatiques moins importants et plus lents. Les systèmes naturels et les systèmes humains ont développé des capacités en réponse à une variabilité climatique dans laquelle les risques de dommages sont relativement faibles et la capacité de récupération élevée. Cependant, des changements climatiques qui accroissent la fréquence de phénomènes qui dépassent le cadre des phénomènes auxquels les systèmes ont pu faire face jusqu'ici, augmentent le risque de dommages graves et de récupération incomplète ou de destruction du système.

→ Q3.28

Question 4

Q4

Que sait-on de l'influence des concentrations atmosphériques croissantes de gaz à effet de serre et d'aérosols et des changements climatiques anthropiques prévus à l'échelle régionale et mondiale en ce qui concerne :

- La fréquence et l'ampleur des fluctuations climatiques, y compris la variabilité quotidienne, saisonnière, interannuelle et décennale, telles que les cycles d'oscillation australe El Niño et autres ?
- La durée, la situation géographique, la fréquence et l'intensité des phénomènes climatiques extrêmes, tels que les vagues de chaleur, sécheresses, inondations, fortes précipitations, avalanches, tempêtes, tornades et cyclones tropicaux ?
- Le risque de changements abrupts/non linéaires pour, notamment, les sources et puits de gaz à effet de serre, la circulation océanique, et l'étendue de la glace polaire et du pergélisol ? Le cas échéant, ce risque peut-il être quantifié ?
- Le risque de changements abrupts ou non linéaires au sein des écosystèmes ?

On prévoit une augmentation de la variabilité du climat et de certains phénomènes extrêmes.

→ Q4.2–8

Les modèles indiquent que les concentrations atmosphériques croissantes de gaz à effet de serre modifieront la variabilité quotidienne, saisonnière, interannuelle et décennale. Une diminution de la fourchette de températures diurnes est prévue dans de nombreuses régions, ainsi qu'une diminution de la variabilité quotidienne de la température de l'air à la surface en hiver, et une augmentation de la variabilité quotidienne en été dans les zones terrestres de l'hémisphère Nord. De nombreux modèles prévoient une augmentation des réponses moyennes de type El Niño dans le Pacifique tropical. Il n'existe pas de consensus sur les changements de la fréquence ou de la structure des phénomènes naturels de circulation entre l'atmosphère et les océans tels que l'Oscillation Atlantique Nord (NAO).

→ Q4.3–8

Selon les modèles, l'accroissement des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre modifiera la fréquence, l'intensité et la durée des phénomènes extrêmes, et il y aura plus de jours chauds, de vagues de chaleur, de fortes précipitations et moins de jours froids. Nombre de ces changements entraîneront probablement une augmentation des risques d'inondations et de sécheresse dans de nombreuses régions et risquent d'avoir des incidences principalement néfastes sur les écosystèmes, les secteurs socio-économiques, et la santé (voir Tableau RID–2 pour plus de détails). Des études basées sur des modèles à haute résolution indiquent que les pointes maximales de vent et l'intensité des cyclones tropicaux devraient augmenter dans certaines régions. On ne dispose pas de d'informations suffisantes sur les risques de changement pour les phénomènes climatiques extrêmes à petite échelle (orages, tornades, grêle et foudre, par exemple).

→ Q4.2–7

Le forçage par les gaz à effet de serre au cours du XXI^e siècle pourrait déclencher des changements à grande échelle, à fortes incidences, non linéaires et potentiellement abrupts au sein des systèmes physiques et biologiques au cours des décennies ou des millénaires à venir, avec des effets connexes probables.

→ Q4.9

Certains des changements abrupts/non linéaires prévus au sein des systèmes physiques et des sources et puits de gaz à effet de serre pourraient être irréversibles, mais des incertitudes subsistent à propos de certains processus sous-jacents. La probabilité des changements prévus devrait augmenter avec le rythme, l'ampleur et la durée des changements climatiques. Quelques exemples de ces changements sont indiqués ci dessous :

→ Q4.10–16

Tableau RID-2	
Exemples de variabilité climatique et de phénomènes climatiques extrêmes, et exemples de leurs incidences (TRE GTII Tableau RID-1).	
Changements prévus au cours du XXI^e siècle pour les phénomènes climatiques extrêmes et leur probabilité	Exemples représentatifs d'incidences prévues ^a (toutes avec confiance d'occurrence élevée dans certains domaines)
Augmentation des températures maximales, du nombre de jours chauds et de vagues de chaleur ^b pour la quasi totalité des zones terrestres (<i>très probable</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation des décès et des maladies graves chez les personnes âgées et les pauvres en milieu urbain. - Stress thermique accru pour les animaux d'élevage et la faune. - Modifications des destinations touristiques. - Augmentation des risques de dommages pour un certain nombre de cultures. - Augmentation des besoins en matière de climatisation électrique et diminution de la fiabilité de l'approvisionnement énergétique.
Températures minimales plus élevées (en augmentation), moins de jours froids, de jours de gel et de vagues de froid ^b pour la quasi totalité des zones terrestres (<i>très probable</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Diminution de la morbidité et de la mortalité humaines liées au froid. - Diminution des risques de dommages pour un certain nombre de cultures, et augmentation de ces risques pour d'autres. - Augmentation de la gamme et de l'activité de certains parasites et vecteurs de maladies. - Diminution des besoins énergétiques pour le chauffage.
Précipitations plus intenses (<i>très probable</i> , sur de nombreuses régions)	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation des inondations, glissements de terrains, avalanches et dommages dus aux coulées de boue. - Accroissement de l'érosion des sols. - Suite aux inondations, une augmentation du ruissellement pourrait accroître le réapprovisionnement des couches aquifères des plaines d'inondation. - Accroissement de la demande en ce qui concerne les systèmes d'assurance gouvernementaux et privés et l'aide aux sinistrés.
Sécheresse estivale accrue sur la plupart des terres continentales à moyenne latitude et risques de sécheresse associés (<i>probable</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Diminution des rendements agricoles. - Augmentation des dommages sur les fondations des bâtiments en raison de la rétraction des sols. - Diminution quantitative et qualitative des ressources en eau. - Augmentation des risques d'incendie de forêts.
Augmentation de l'intensité des pointes de vent des cyclones tropicaux et de l'intensité des précipitations moyennes et maximales (<i>probable</i> , dans certaines régions) ^c	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation des risques mortels pour les êtres humains, des risques d'épidémies de maladies infectieuses et de nombreux autres risques. - Augmentation de l'érosion côtière et des dommages pour les bâtiments et l'infrastructure côtières. - Dommages accrus au sein des écosystèmes côtiers tels que les récifs coralliens et mangroves.
Intensification de la sécheresse et des inondations liées au phénomène El Niño dans de nombreuses régions (<i>probable</i>) (voir également la rubrique Sécheresse et précipitations intenses)	<ul style="list-style-type: none"> - Diminution de la productivité des terres agricoles et des grands pâturages dans les régions sujettes à la sécheresse et aux inondations. - Diminution du potentiel en matière d'énergie hydroélectrique dans les régions sujettes aux sécheresses.
Augmentation de la variabilité des moussons estivales en Asie (<i>probable</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de l'ampleur des inondations et de la sécheresse et des dommages en Asie tempérée et tropicale.
Augmentation de l'intensité des tempêtes aux latitudes moyennes (peu d'accord entre les modèles actuels) ^b	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation des risques mortels et des risques pour la santé humaine. - Augmentation des pertes en ce qui concerne les biens matériels et l'infrastructure. - Augmentation des dommages au sein des écosystème côtiers.
<p>^a Ces effets peuvent être atténués par des mesures d'intervention appropriées.</p> <p>^b Information provenant du Résumé technique GTI TRE (Section F.5)</p> <p>^c Des changements de la répartition régionale des cyclones tropicaux sont possibles, mais n'ont pas été établis.</p>	

- D'importants changements d'origine climatique au niveau des sols et de la végétation pourraient se produire et entraîner d'autres changements climatiques à la suite de l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre par les végétaux et les sols et de la modification des propriétés des surfaces (albédo, par exemple).
- La plupart des modèles prévoient un affaiblissement de la circulation thermohaline océanique, ce qui diminuerait le transfert thermique aux hautes latitudes en Europe ; mais aucun modèle ne prévoit un arrêt soudain avant la fin du XXI^e siècle. Après 2100, cependant,

certaines modèles indiquent la possibilité d'un arrêt complet, voir irréversible, de la circulation thermohaline, dans l'un ou l'autre des deux hémisphères si l'évolution du forçage radiatif est suffisamment importante et suffisamment longue.

- Dans son ensemble, la masse de l'inlandsis Antarctique devrait augmenter au cours du XXI^e siècle, mais après un réchauffement continu, elle pourrait diminuer sensiblement, et contribuer de plusieurs mètres à l'élévation du niveau de la mer prévue au cours des 1 000 ans à venir.
- Contrairement à l'inlandsis Antarctique, la masse de l'inlandsis groenlandais diminuera probablement au cours du XXI^e siècle et contribuera de quelques centimètres à l'élévation du niveau de la mer. Les inlandsis continueront de réagir à l'évolution climatique et contribueront à l'élévation du niveau de la mer pendant des milliers d'années après stabilisation du climat. Les modèles climatiques indiquent un réchauffement local probable au-dessus du Groenland de un à trois fois la moyenne mondiale. Les modèles utilisés pour l'étude des inlandsis indiquent qu'un réchauffement local de plus de 3 °C se poursuivant pendant des millénaires entraînerait la fonte quasi totale de l'inlandsis groenlandais et l'élévation du niveau de la mer de 7 m environ. Dans le cas d'un réchauffement local de 5,5 °C, qui se poursuivrait pendant 1 000 ans, la fonte de l'inlandsis groenlandais contribuerait probablement de 3 m environ à l'élévation du niveau de la mer.
- Un réchauffement continu augmenterait la fonte du pergélisol dans les régions polaires, sub-polaires et montagneuses, et une grande partie du pergélisol deviendrait vulnérable aux tassements et glissements de terrains qui affectent l'infrastructure, les cours d'eau et les écosystèmes des zones humides.

Pour de nombreux écosystèmes, l'évolution climatique pourrait accroître le risque de changements abrupts et non linéaires, ce qui pourrait avoir des répercussions sur leur fonction, leur biodiversité et leur productivité. Plus l'ampleur et le rythme des changements est grand, plus le risque d'effets néfastes est élevé. Par exemple :

- La modification des régimes de perturbations et de la situation d'habitats climatiquement adaptés pourrait entraîner la rupture soudaine d'écosystèmes terrestres et marins avec changements significatifs de leur composition et de leur fonction et augmentation des risques d'extinction.
- Des augmentations durables des températures de l'eau, même de l'ordre de 1°C, isolément ou associées à toute autre contrainte (pollution excessive et envasement, par exemple), peuvent provoquer des efflorescences d'algues sur les récifs coralliens (blanchissement du corail) et, éventuellement, la disparition de certains coraux.
- Une augmentation de température au-delà d'un certain seuil, variable selon les cultures et les variétés, peut influencer des stades clés du développement pour certaines cultures (stérilité des épis du riz, réduction de la viabilité du pollen pour les cultures de maïs, développement moins important des tubercules pour les cultures de pommes de terre, par exemple) et, donc sur les rendements agricoles. Pour ces cultures, les baisses de rendements peuvent être très importantes si les températures dépassent des limites critiques, même pendant très peu de temps.

→ Q4.17–19

Question 5

Que sait-on au sujet de l'inertie et des échelles temporelles associées aux changements des systèmes climatiques, écologiques et des secteurs socio-économiques et de leurs interactions ?

Q5

L'inertie est une caractéristique inhérente généralisée des systèmes climatiques, écologiques et socio-économiques en interaction. Ainsi, certains effets des changements climatiques anthropiques ne deviendront apparents que lentement, alors que d'autres peuvent être irréversibles si le rythme et l'ampleur des changements climatiques ne sont pas limités avant le dépassement de seuils associés dont la position peut être mal connue.

→ Q5.1–4, Q5.8, Q5.10–12 & Q5.14–17

La concentration de CO₂, la température, et le niveau de la mer continuent d'augmenter bien après la réduction des émissions

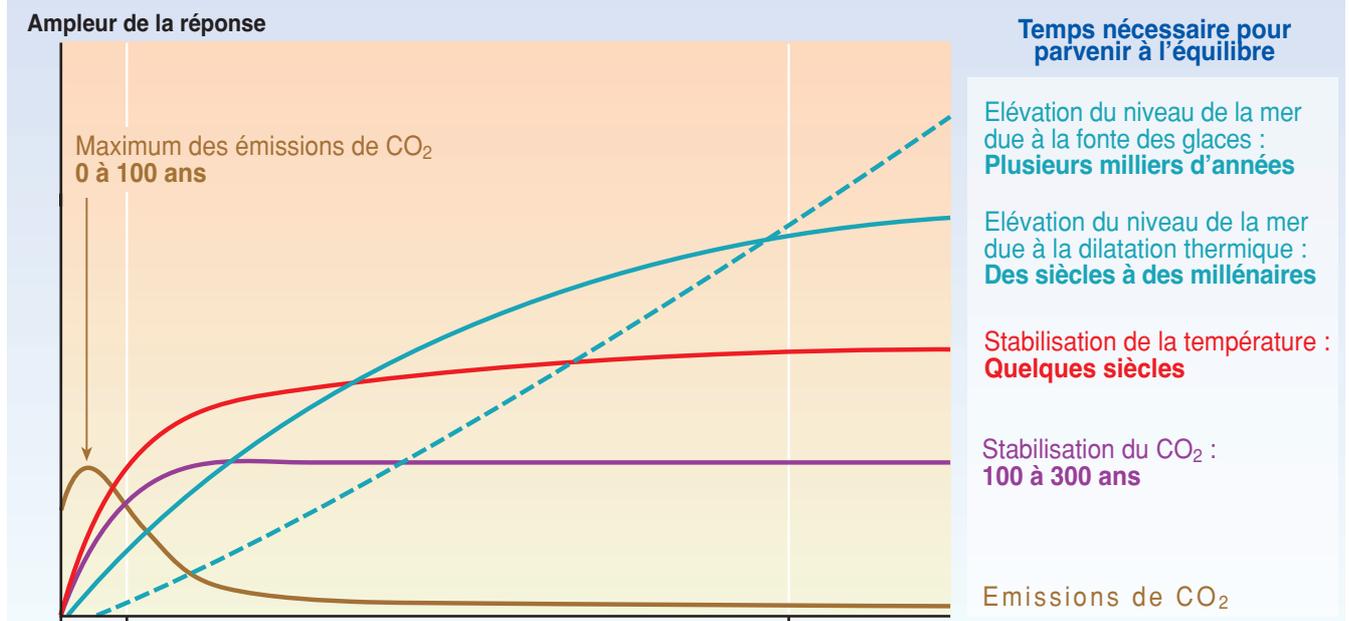


Figure RID-5 : Après réduction des émissions de CO₂ et stabilisation des concentrations atmosphériques, la température de l'air à la surface continue d'augmenter lentement pendant un siècle ou plus. La dilatation thermique des océans se poursuit bien après la réduction des émissions de CO₂, et la fonte des inlandsis continue de contribuer à l'élévation du niveau de la mer pendant plusieurs siècles. Cette Figure est une illustration générique pour une stabilisation entre 450 et 1 000 ppm et par conséquent l'axe Réponse n'a pas d'unités. Les réponses aux trajectoires de stabilisation dans cette fourchette indiquent des trajectoires temporelles généralement similaires, mais les incidences deviennent progressivement plus importantes avec des concentrations plus élevées de CO₂.

→ Q5 Figure 5-2

Inertie des systèmes climatiques

La stabilisation des émissions de CO₂ à des niveaux proches des niveaux actuels ne conduira pas à la stabilisation de la concentration atmosphérique du CO₂, alors que la stabilisation des émissions de gaz à effet de serre à durée de vie plus faible, tels que le CH₄, conduira, en quelques décennies, à une stabilisation de leurs concentrations atmosphériques. La stabilisation des concentrations de CO₂, quel que soit le niveau retenu, exige une réduction éventuelle des émissions nettes de CO₂ jusqu'à un faible pourcentage de leur niveau actuel. Plus le niveau de stabilisation choisi est bas, plus les mesures de réduction des émissions nettes mondiales de CO₂ doivent être prises rapidement (voir Figure RID-5).

→ Q5.3 & Q5.5

Après stabilisation de la concentration atmosphérique de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre, la température de l'air à la surface devrait continuer d'augmenter d'un dixième de degré par siècle pendant cent ans ou plus, et le niveau de la mer devrait continuer de s'élever pendant des centaines d'années (voir Figure RID-5).

→ Q5.4

En raison de la lenteur du transfert thermique dans les océans et de la réaction des inlandsis, un nouvel équilibre du système climatique ne sera atteint que dans très longtemps.

Certains changements climatiques, plausibles au-delà du XXI^e siècle, seraient en fait irréversibles. Par exemple, une fonte importante des inlandsis (voir Question 4) et une modification fondamentale de la circulation océanique (voir Question 4) ne pourraient pas être inversées pendant des générations. Le seuil de modification fondamentale de la circulation océanique peut être atteint à un degré de réchauffement inférieur dans le cas d'un réchauffement non pas progressif mais rapide.

→ Q5.4 & Q5.14-16

Inertie dans les systèmes écologiques

Dans le cas de certains écosystèmes, les effets de l'évolution climatique peuvent être visibles rapidement, alors que pour d'autres écosystèmes, ils ne deviendront évidents que plus lentement.

Le blanchissement du corail, par exemple, peut se produire au cours d'une saison exceptionnellement chaude, alors que des organismes à durée de vie plus longue, tels que les arbres, peuvent perdurer pendant des décennies en dépit de l'évolution climatique, mais sans pouvoir se régénérer. Des écosystèmes soumis à des changements climatiques, y compris des modifications de la fréquence des phénomènes extrêmes, peuvent être perturbés du fait de la variabilité du temps de réponse des espèces.

→ Q5.8 & Q3 Tableau 3–2

Selon certains modèles du cycle du carbone, l'absorption terrestre nette de carbone mondiale devrait culminer au cours du XXI^e siècle, avant de se stabiliser ou de diminuer.

L'absorption de CO₂ nette mondiale récente par les écosystèmes terrestres est due en partie aux décalages temporels entre l'augmentation de la croissance végétale et la mort et le pourrissement des végétaux. L'amélioration actuelle de la croissance végétale résulte en partie des effets fertilisateurs des dépôts accrus de CO₂ et d'azote, et de l'évolution climatique et des changements de l'affectation des terres. L'absorption diminuera au fur et à mesure que les forêts parviendront à maturité, que les effets fertilisateurs atteindront un point de saturation et que la décomposition rattrapera la croissance. Les changements climatiques diminueront probablement l'absorption terrestre nette de carbone à l'échelle mondiale. Bien que le réchauffement réduise l'absorption de CO₂ par les océans, l'absorption nette de carbone par les océans devrait se poursuivre, en conjonction avec une augmentation du CO₂ atmosphérique, au moins pendant le XXI^e siècle. Le transfert du carbone entre la surface et les grandes profondeurs océaniques prend des siècles, et, à ce niveau, son équilibre avec les sédiments océaniques prend des milliers d'années.

→ Q5.6–7

Inertie dans les systèmes socio-économiques

Contrairement aux systèmes climatiques et écologiques, l'inertie au sein des systèmes humains n'est pas fixe, mais peut être modifiée par des politiques et par des choix individuels.

La capacité de mise en œuvre des politiques sur les changements climatiques dépend de l'interaction entre les structures et les valeurs socio-économiques, les institutions, les technologies et l'infrastructure en place. En général, l'ensemble du système évolue relativement lentement. Il peut répondre rapidement aux pressions, mais cette réponse s'avère souvent coûteuse (dans le cas, par exemple du remplacement prématuré de biens d'équipement). Lorsque le changement est plus lent, les coûts peuvent être moins élevés, en raison de l'évolution technologique ou de l'amortissement total des biens d'équipement. En règle générale, des années ou des décennies séparent la perception de la nécessité d'une réponse à un problème important, la planification, les recherches et le développement d'une solution et sa mise en œuvre. Des mesures anticipées, basées sur une connaissance des faits, peuvent améliorer les chances de disposer des technologies appropriées en temps utile.

→ Q5.10–13

Le développement et l'adoption de nouvelles technologies peuvent être accélérés par des politiques de transfert de technologies et des politiques de soutien dans le domaine fiscal et de la recherche.

Le remplacement des technologies peut être retardé par des systèmes « figés » qui présentent des bénéfices commerciaux résultant des institutions, services, et infrastructures en place et des ressources disponibles. L'utilisation précoce de technologies en évolution rapide permet de réduire les coûts de la courbe d'apprentissage.

→ Q5.10 & Q5.22

Conséquences de l'inertie sur les politiques

En raison de l'inertie et de l'incertitude au sein des systèmes climatiques, écologiques et socio-économiques, l'étude des marges de sécurité doit être intégrée à l'établissement de stratégies, objectifs et programmes, afin de prévenir des niveaux dangereux de perturbation du système climatique.

Par exemple, les objectifs de stabilisation de la concentration de CO₂, de la température, ou du niveau de la mer peuvent être influencés par :

- L'inertie du système climatique, qui entraînera la poursuite des changements climatiques pendant un certain temps après la mise en œuvre de mesures d'atténuation ;

→ Q5.18–20 & Q5.23

- Les incertitudes liées aux seuils possibles de changements irréversibles et au comportement du système à proximité de ces seuils ;
- Les décalages temporels entre l'adoption et la réalisation d'objectifs d'atténuation.

De même, les décalages temporels entre l'identification des incidences des changements climatiques, le développement de stratégies d'adaptation efficaces, et la mise en œuvre de mesures d'adaptation ont des répercussions sur l'adaptation.

Du fait de l'inertie dans les systèmes climatiques, écologiques et socio-économiques, l'adaptation est inévitable et déjà indispensable dans certains cas, et cette inertie a des effets sur l'éventail optimal de stratégies d'adaptation et d'atténuation.

Les conséquences de l'inertie diffèrent selon qu'il s'agit d'adaptation ou d'atténuation – l'adaptation étant principalement orientée vers une réponse à des effets localisés des changements climatiques, alors que l'atténuation vise à répondre aux incidences sur le système climatique. Ces conséquences ont des répercussions sur l'éventail d'options de politiques les plus économiques et les plus équitables. Des stratégies de couverture et la prise de décisions séquentielle (mesures itératives, évaluation et mesures révisées) peuvent être des réponses appropriées à la combinaison de l'inertie et de l'incertitude. Face à l'inertie, en ce qui concerne les changements climatiques, des mesures d'adaptation ou d'atténuation bien fondées sont plus efficaces, et peuvent quelquefois être moins coûteuses, si elles sont prises plus tôt.

→ Q5.18-21

L'omniprésence de l'inertie et le risque d'irréversibilité dans les systèmes climatiques, écologiques et socio-économiques interactifs justifient en grande partie l'utilité des mesures d'adaptation et d'atténuation anticipatoires.

Si les mesures sont différées, certaines possibilités d'adaptation et d'atténuation peuvent être perdues à jamais.

→ Q5.24

Question 6

Q6

- (a) Comment la portée et l'échelonnement dans le temps de mesures de réduction des émissions peuvent-ils déterminer et influencer le rythme, l'ampleur et les incidences des changements climatiques, et influer sur l'économie mondiale et régionale, compte tenu des émissions passées et actuelles ?
- (b) A partir des études de sensibilité, que sait-on des conséquences climatiques, environnementales et socio-économiques régionales et mondiales de la stabilisation des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre (en équivalent-dioxyde de carbone), pour des niveaux allant des niveaux actuels au double de ces niveaux ou plus, compte tenu, si possible, des effets des aérosols ? Pour chaque scénario de stabilisation, y compris diverses voies vers une stabilisation, évaluer les coûts et bénéfices, par rapport à l'éventail de scénarios examinés à la Question 3, en ce qui concerne :
 - Les changements prévus des concentrations atmosphériques, du climat et du niveau de la mer, y compris les changements au-delà de cent ans ;
 - Les incidences et les coûts et bénéfices économiques des changements climatiques et de la modification de la composition de l'atmosphère sur la santé humaine, et sur la diversité et la productivité des systèmes écologiques et des secteurs socio-économiques (agriculture et eau, en particulier) ;
 - L'éventail d'options d'adaptation, y compris les coûts, bénéfices et difficultés ;
 - Les technologies, politiques et méthodes susceptibles d'être utilisées pour atteindre chaque niveau de stabilisation, avec évaluation des coûts et bénéfices nationaux et mondiaux, et évaluation quantitative ou qualitative des coûts et bénéfices, par rapport aux nuisances environnementales prévenues grâce aux réductions d'émissions ;
 - Les questions de développement, de durabilité et d'équité associées aux incidences, à l'adaptation et à l'atténuation à l'échelle régionale et mondiale.

Des réductions des émissions de gaz à effet de serre pourraient diminuer le rythme et l'ampleur du réchauffement et de l'élévation du niveau de la mer prévus.

→ Q6.2

Plus les réductions des émissions seront importantes, et plus elles seront mises en œuvre tôt, plus le réchauffement climatique et l'élévation du niveau de la mer pourront être réduits et ralentis.

Les futurs changements climatiques sont déterminés par les émissions antérieures, actuelles et futures. Les différences entre les variations de température prévues par les scénarios avec et sans réductions de gaz à effet de serre sont faibles pendant les quelques premières décennies, mais augmentent avec le temps si les réductions se poursuivent.

→ Q6.3

La stabilisation du forçage radiatif exigera des réductions des émissions de gaz à effet de serre et des gaz qui contrôlent leur concentration.

Dans le cas du gaz à effet de serre anthropique le plus important, les modèles du cycle du carbone indiquent que pour obtenir une stabilisation des concentrations atmosphériques de CO₂ à 450, 650 ou 1 000 ppm, les émissions anthropiques mondiales de CO₂ devraient descendre au-dessous des niveaux de 1990, en quelques décennies, un siècle ou environ deux siècles, respectivement, puis diminuer régulièrement par la suite (voir Figure RID-6). Selon ces modèles, les émissions culmineraient d'ici une ou deux décennies environ (450 ppm) et environ un siècle (1 000 ppm) à compter d'aujourd'hui. Finalement, les émissions de CO₂ devraient diminuer pour atteindre un très faible pourcentage des émissions actuelles. Les bénéfices des divers niveaux de stabilisation sont examinés ultérieurement à la Question 6 et leurs coûts sont examinés à la Question 7.

→ Q6.4

Il existe de multiples incertitudes pour ce qui est de la quantification du réchauffement qui résulterait de toute concentration stabilisée des émissions de gaz à effet de serre.

Ceci est dû au facteur d'incertitude de trois concernant la sensibilité du climat aux augmentations des gaz à effet de serre⁴. La Figure RID-7 représente la stabilisation éventuelle des niveaux de CO₂ et la fourchette de variations de température correspondantes qui devraient être obtenues en 2100 et à la phase d'équilibre.

→ Q6.5

A partir des profils indiqués à la Figure RID-6, et en supposant que les émissions de gaz autres que le CO₂ suivent la projection A1B du RSSE jusqu'à 2100 et restent constantes par la suite, on estime que les réductions d'émissions qui permettraient une stabilisation éventuelle de la concentration atmosphérique de CO₂ à moins de 1 000 ppm, limiteraient l'augmentation de température moyenne mondiale à 3,5°C ou moins en 2100.

Selon les estimations, la température moyenne mondiale à la surface devrait augmenter de 1,2 à 3,5°C d'ici 2100 pour des profils qui devraient stabiliser la concentration de CO₂ à des niveaux entre 450 et 1 000 ppm. Par conséquent, même si tous les profils de stabilisation des concentrations de CO₂ analysés pourraient prévenir, au cours du XXI^e siècle, la plupart des valeurs supérieures de réchauffement prévues par le RSSE (1,4 à 5,8°C d'ici 2100), il convient de noter que, pour la plupart des profils, l'augmentation des concentrations de CO₂ devrait se poursuivre au-delà de 2100. L'augmentation à la température à l'équilibre prendrait des siècles et se situe entre 1,5 et 3,9°C au-dessus des niveaux de 1990 pour une stabilisation à 450 ppm, et entre 3, 5 et 8,7°C au-dessus des niveaux de 1990 pour une stabilisation à 1 000 ppm⁵. De plus, pour un objectif de stabilisation de température spécifique, il existe de nombreuses incertitudes à propos du niveau de stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre (voir Figure RID-7). Le niveau de stabilisation des concentrations de CO₂ pour un objectif de température donné dépend également des niveaux des autres gaz.

→ Q6.6

⁴ La réponse de la température moyenne globale à l'équilibre au doublement du CO₂ atmosphérique est souvent utilisée pour mesurer la sensibilité du climat. Les températures indiquées aux Figures RID-6 et RID-7 sont obtenues à l'aide d'un modèle simple, étalonné pour fournir la même réponse qu'un ensemble de modèles complexes ayant une fourchette de sensibilité entre 1,7 et 4,2°C. Cette fourchette est comparable à la fourchette de 1,5 à 4,5°C communément acceptée.

⁵ Pour tous ces scénarios, la contribution au réchauffement à l'équilibre des autres gaz à effet de serre et aérosols est de 0,6°C pour une sensibilité du climat faible et de 1,4°C pour une sensibilité du climat élevée. L'augmentation connexe du forçage radiatif est équivalente à celle qui se produit avec 28 % de plus dans les concentrations finales de CO₂.

Emissions, concentrations, et variations de température correspondant à divers niveaux de stabilisation pour les concentrations de CO₂

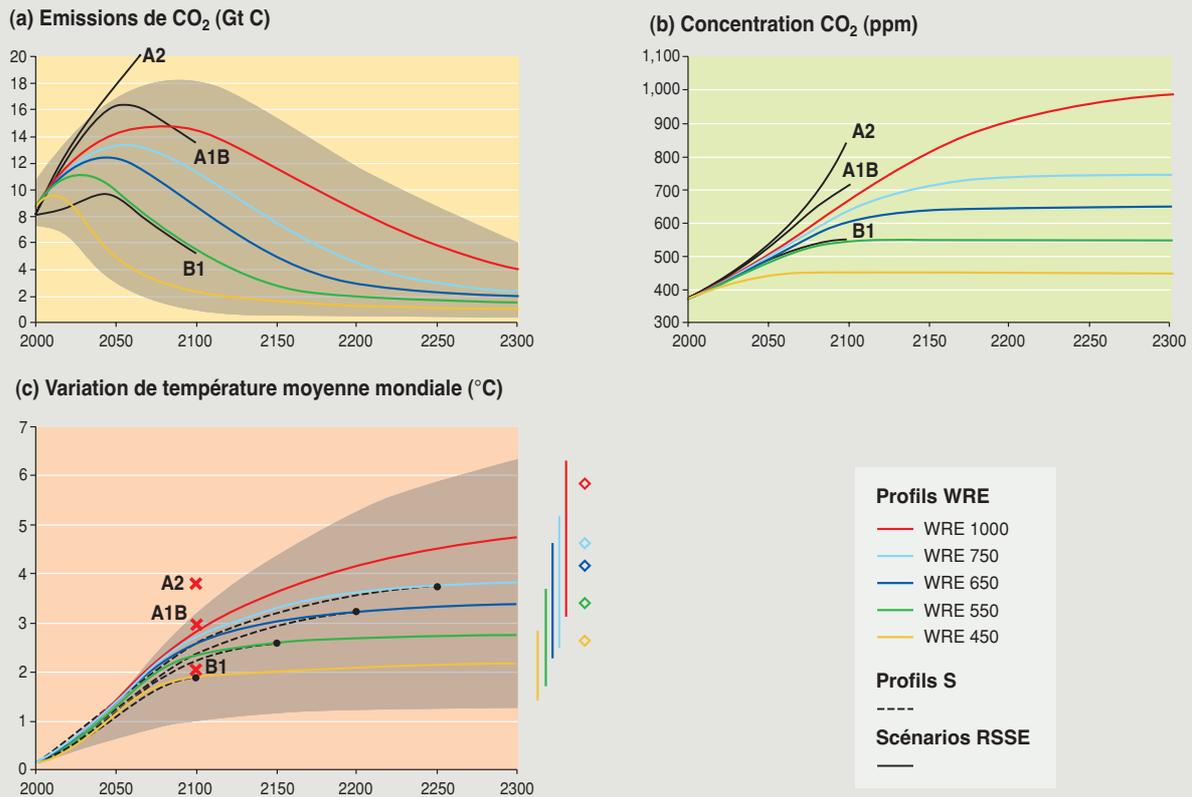


Figure RID-6 : La stabilisation des concentrations de CO₂ exigerait des réductions considérables des émissions au-dessous des niveaux actuels et ralentirait le rythme du réchauffement.

→ Q6 Figure 6-1

- (a) *Émissions de CO₂* : les chemins temporels des émissions de CO₂ susceptibles de conduire à la stabilisation de la concentration atmosphérique du CO₂ à des niveaux différents sont estimés pour les profils de stabilisation WRE par la modélisation du cycle du carbone. La partie ombrée représente la fourchette d'incertitudes.
- (b) *Concentrations de CO₂* : Les concentrations de CO₂ spécifiées pour les profils WR2 sont représentées.
- (c) *Variations de température moyenne mondiale* : Les variations de température sont évaluées à l'aide d'un modèle climatique simple pour les profils de stabilisation WRE. Le réchauffement se poursuit au-delà du point de stabilisation des concentrations de CO₂ (indiqué par des points noirs), mais beaucoup plus lentement. La simulation suppose que les émissions de gaz autres que le CO₂ suivent la projection A1B du RSSE jusqu'en 2100 et restent constantes par la suite. Ce scénario a été choisi en raison de sa position centrale dans l'éventail de scénarios du RSSE. Les lignes en pointillés représentent les prévisions des variations de température pour les profils S (ne figurant pas sur les graphiques (a) ou (b)). La partie ombrée illustre les effets d'une fourchette de sensibilité du climat pour les cinq cas de stabilisation. Les barres verticales colorées à droite représentent l'incertitude pour chaque cas de stabilisation en 2300. Les losanges à droite représentent le réchauffement moyen à l'équilibre (très long terme) pour chaque niveau de stabilisation du CO₂. Les émissions et concentrations de CO₂ et les variations de température sont également indiquées pour trois des scénarios du RSSE à des fins de comparaison.

Il existe une marge d'incertitude importante à propos de la quantité de réchauffement qui résulterait d'une concentration stabilisée des gaz à effet de serre, quel que soit le niveau

Variation de température par rapport à 1990 (°C)

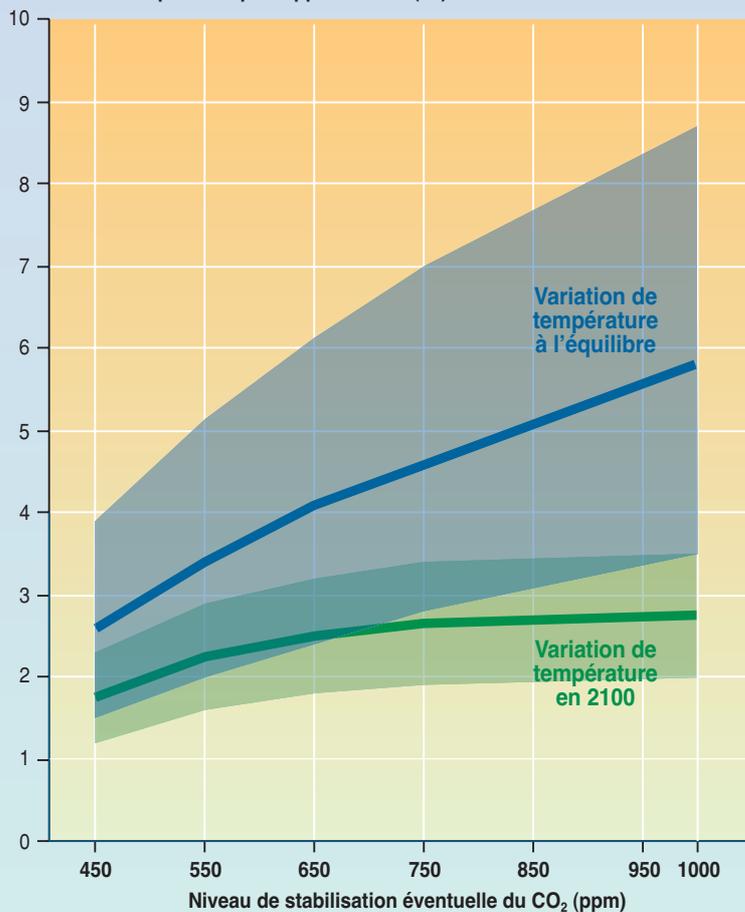


Figure RID-7 : La stabilisation des concentrations de CO₂ diminuerait le réchauffement, mais il est difficile de quantifier cette diminution avec certitude. Les variations de température par rapport à 1990 en (a) 2100 et (b) à l'équilibre sont estimées à l'aide d'un modèle climatique simple pour les profils WRE comme indiqué à la Figure RID-6. Les estimations minimales et maximales pour chaque niveau de stabilisation supposent une sensibilité du climat de 1,7 et 4,2 °C respectivement. L'axe est une moyenne des estimations minimales et maximales.

→ Q6 Figure 6-2

Le niveau de la mer et les inlandsis devraient continuer de réagir au réchauffement pendant des siècles après la stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre.

L'élévation prévue du niveau de la mer due à la dilatation thermique à l'équilibre est de l'ordre de 0,5 à 2 m pour une augmentation de la concentration de CO₂ du niveau préindustriel de 280 à 560 ppm, et de 1 à 4 m pour une augmentation de la concentration de CO₂ de 280 à 1 120 ppm. L'élévation observée au cours du XX^e siècle a été de 0,1 à 0,2 m. L'élévation prévue serait plus importante si l'on tient compte des effets des concentrations d'autres gaz à effet de serre. D'autres facteurs contribuent à l'élévation du niveau de la mer sur des échelles temporelles allant des siècles à des millénaires. Les modèles évalués dans le projet du TRE prévoient une élévation du niveau de la mer de plusieurs mètres en raison de la fonte des inlandsis polaires (voir Question 4) et de la glace terrestre, même pour des niveaux de stabilisation de 550 ppm équivalent-CO₂.

→ Q6.8

La réduction des émissions de gaz à effet de serre nécessaire à la stabilisation de leurs concentrations atmosphériques devrait retarder et atténuer les dommages dus aux changements climatiques.

→ Q6.9

Des mesures de réduction (atténuation) des émissions de gaz à effet de serre diminueraient les pressions exercées par les changements climatiques sur les systèmes naturels et humains. Une augmentation plus lente de la température moyenne mondiale et de l'élévation du niveau de la mer donnerait plus de temps pour s'adapter. Par conséquent, les mesures d'atténuation devraient retarder et atténuer les dommages dus aux changements climatiques, ce qui produirait des bénéfices environnementaux et socio-économiques. Des mesures d'atténuation et leurs coûts associés sont évalués dans la réponse à la Question 7.

→ Q6.10

Des mesures d'atténuation visant à stabiliser les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre à des niveaux inférieurs offrirait des bénéfices accrus du fait de la réduction des dommages. Une stabilisation à des niveaux inférieurs diminue le risque de dépassement des seuils de température pour les systèmes biophysiques dans lesquels ces seuils existent. La stabilisation du CO₂ à 450 ppm, par exemple, devrait avoir pour effet une augmentation de température moyenne mondiale en 2100 de 0,75 à 1,25°C de moins que celle estimée pour une stabilisation à 1 000 ppm (voir Figure RID-7). À l'équilibre, la différence est de 2 à 5°C environ. L'étendue géographique des dommages ou de la disparition des systèmes naturels et le nombre de systèmes affectés, qui augmentent avec l'ampleur et le rythme des changements climatiques, seraient moindres pour un niveau de stabilisation inférieur. De même, pour un niveau de stabilisation inférieur, les effets des phénomènes climatiques extrêmes seraient moins graves, moins de régions seraient affectées par des effets négatifs nets sur le marché, les incidences mondiales à l'échelle mondiale seraient moindres et le risque de phénomènes à grande échelle et effets majeurs serait réduit.

→ Q6.11

À l'heure actuelle, il n'y a pas d'estimations quantitatives complètes des bénéfices de la stabilisation à différents niveaux de concentration atmosphérique des gaz à effet de serre. On comprend mieux l'aspect qualitatif des incidences des changements climatiques. Étant donné les incertitudes concernant la sensibilité du climat et les profils géographiques et saisonniers des variations de température, des précipitations et d'autres variables et phénomènes climatiques prévus, on ne peut pas prévoir spécifiquement les incidences des changements climatiques pour des scénarios d'émissions individuels. Les processus clés, les sensibilités et les capacités d'adaptation des systèmes face à l'évolution du climat sont également entachés d'incertitude. En outre, des effets, tels que la modification de la composition et de la fonction des écosystèmes, l'extinction des espèces, et des modifications dans le domaine de la santé, ainsi que la disparité de la répartition des incidences sur les populations, ne peuvent pas être facilement exprimés en unités monétaires ou autres unités communes courantes. Ceci explique pourquoi la compréhension des bénéfices des mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre, y compris des mesures de stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre à des niveaux spécifiques, demeure incomplète et pourquoi on ne peut pas comparer directement ces bénéfices aux coûts d'atténuation pour estimer les effets économiques nets de l'atténuation.

→ Q6.12

L'adaptation est une stratégie nécessaire à tous les niveaux pour renforcer les mesures d'atténuation face aux changements climatiques. Conjointement, ces stratégies peuvent permettre d'atteindre des objectifs de développement durable.

→ Q6.13

L'adaptation peut être complémentaire à l'atténuation dans le cadre d'une stratégie économique visant à réduire les risques liés aux changements climatiques. La réduction des émissions de gaz à effet de serre, même la stabilisation de leurs concentrations atmosphériques à un niveau peu élevé, ne préviendront pas complètement les changements climatiques ou l'élévation du niveau de la mer ou leurs incidences. De nombreuses adaptations réactives se produiront en réponse à l'évolution du climat et à l'élévation du niveau de la mer, et certaines se sont déjà produites. De plus, l'élaboration de stratégies d'adaptation planifiées pour faire face aux risques et exploiter des possibilités peut renforcer les mesures d'atténuation et contribuer à limiter les effets des changements climatiques. Toutefois, l'adaptation générera des coûts et ne peut pas prévenir la totalité des dommages. Les coûts d'adaptation peuvent être réduits par des mesures d'atténuation qui diminueront et ralentiront les changements climatiques qui menacent les systèmes.

→ Q6.14–15

On estime que les incidences des changements climatiques pourraient varier dans les pays et selon les pays. La résolution du problème des changements climatiques soulève la question importante de l'équité. Des mesures d'atténuation et d'adaptation bien conçues peuvent promouvoir un développement durable et l'équité dans les pays, et ceci pour tous les pays et pour toutes les générations. La réduction de l'augmentation prévue des extrêmes climatiques devrait bénéficier à tous les pays, en particulier aux pays en développement, que l'on estime plus vulnérables aux changements climatiques que les pays développés. L'atténuation des changements climatiques diminuerait également les risques pour les générations futures, risques résultant des activités de la génération actuelle.

→ Q6.16–18

Question 7

Q7

Que sait-on des possibilités, coûts et bénéfices et délais d'exécution en ce qui concerne la réduction des émissions de gaz à effet de serre ?

- Quels seraient les coûts et bénéfices socio-économiques et incidences sur l'équité d'options de politique et de mesures, et des mécanismes du Protocole de Kyoto susceptibles de représenter une solution au problème des changements climatiques régionaux et mondiaux ?
- Quels éventails d'options de recherche et développement, investissements et autres mesures d'intervention pourraient être considérés comme étant les plus efficaces pour améliorer le développement et la mise en œuvre de technologies qui répondent au problème des changements climatiques ?
- Quelles options de politiques économiques et autres pourraient être jugées aptes à éliminer les obstacles actuels et potentiels et stimuler le transfert et la mise en œuvre des technologies des secteurs privés et publics entre les pays, et quels en seraient les effets sur les émissions prévues ?
- Comment l'échelonnement dans le temps de ces options influe-t-il sur les coûts et bénéfices économiques associés, et les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre au cours du siècle à venir et au-delà ?

Il existe de nombreuses possibilités, y compris des options technologiques, pour réduire les émissions à court terme ; mais il existe également des obstacles à leur mise en œuvre.

→ Q7.2–7

D'importants progrès technologiques pertinents pour la réduction potentielle des émissions de gaz à effet de serre ont été réalisés depuis le DRE de 1995, et ceci plus rapidement que prévu.

Des réductions nettes des émissions pourraient être obtenues grâce à un large éventail de technologies (conversion plus efficace pour la production et l'utilisation de l'énergie, adoption de technologies sans émissions ou à faibles émissions de gaz à effet de serre, élimination et stockage du carbone, et amélioration de l'utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie, par exemple). Des progrès ont été réalisés dans de nombreux domaines technologiques, à divers stades du développement, et vont de la commercialisation de turbines à vent et l'élimination rapide des gaz dérivés industriels, à l'amélioration de la technologie des piles à combustibles et à la démonstration de stockage souterrain du CO₂.

→ Q7.3

La mise en œuvre réussie des options d'atténuation relatives aux gaz à effet de serre exigera l'élimination des obstacles techniques, économiques, politiques, culturels, sociaux, comportementaux et/ou institutionnels qui préviennent l'exploitation totale des possibilités technologiques, économiques et sociales de ces options. Les possibilités d'atténuation et les types d'obstacles varient selon les régions et les secteurs, et dans le temps, en raison des variations importantes de la capacité d'atténuation. Un financement innovateur, des politiques d'apprentissage et d'innovation sociales, des réformes institutionnelles, l'élimination des obstacles au commerce, et l'élimination de la pauvreté auraient des effets positifs pour la plupart des pays. Dans les pays industrialisés, ces possibilités existent

→ Q7.6

principalement au niveau de l'élimination des obstacles sociaux et comportementaux ; dans les pays aux économies en transition, au niveau de la rationalisation des prix ; et dans les pays en développement, à celui de la rationalisation des prix, d'un meilleur accès aux données et à l'information, de la disponibilité de technologies de pointe, des ressources financières et du renforcement de la formation et des capacités. Mais, quel que soit le pays, l'élimination d'un ensemble d'obstacles générera probablement de nouvelles possibilités.

Les réponses nationales aux changements climatiques peuvent être plus efficaces si elles font partie d'un ensemble de mesures d'intervention visant à limiter ou réduire les émissions nettes de gaz à effet de serre.

Cet ensemble peut inclure — selon les circonstances propres à chaque pays — des taxes sur les émissions/le carbone/l'énergie, des droits d'émission échangeables ou non, des politiques sur l'affectation des terres, l'attribution et/ou la suppression de subventions, des systèmes de caution/remboursement, des normes technologiques ou de productivité, des exigences d'énergie mixte, des interdictions de produits, des accords volontaires, des dépenses et investissements gouvernementaux, et l'aide à la recherche et au développement.

→ Q7.7

Les estimations des coûts par des modèles et des études différents peuvent varier pour de multiples raisons.

→ Q7.14–19

Pour diverses raisons, les estimations quantitatives spécifiques des coûts d'atténuation présentent des différences et des incertitudes importantes. Les estimations des coûts diffèrent en raison (a) de la méthodologie⁶ utilisée dans l'analyse, et (b) des facteurs et hypothèses sous-jacents intégrés dans l'analyse.

→ Q7.14 & Q7.20

L'inclusion de certains facteurs aura pour résultat des estimations faibles, et d'autres des estimations plus élevées. L'inclusion de plusieurs gaz à effet de serre, de puits, de changements d'origine technique, et des échanges des droits d'émission⁷ peut produire des estimations de coûts plus faibles. En outre, des études montrent que certaines sources d'émissions de gaz à effet de serre peuvent être limitées pour un coût social nul ou négatif, de sorte que les politiques peuvent exploiter des possibilités « sans regrets » du type rectification des imperfections du marché, inclusion des bénéfices accessoires et recyclage efficace des recettes fiscales. Une coopération internationale facilitant des réductions rentables des émissions peut diminuer les coûts d'atténuation. D'autre part, la prise en compte des chocs macro-économiques potentiels à court terme, des contraintes quant à l'utilisation des mécanismes économiques domestiques et internationaux, des coûts de transactions élevés, l'inclusion de coûts complémentaires, et un recyclage inefficace des recettes fiscales peuvent augmenter les estimations des coûts. Étant donné qu'aucune analyse n'intègre tous les facteurs pertinents affectant les coûts d'atténuation, les estimations de ces coûts peuvent ne pas refléter les coûts réels de la mise en œuvre des mesures d'atténuation.

Des études examinées dans le TRE soulignent l'existence de possibilités considérables pour réduire les coûts d'atténuation.

→ Q7.15-16

Des études ascendantes indiquent l'existence de possibilités considérables pour réduire les coûts d'atténuation.

Selon des études ascendantes, des réductions d'émissions mondiales de 1,9–2,6 Gt C_{eq} (gigatonnes équivalent-carbone) et de 3,6–5,0 GTC_{eq} par an⁸ pourraient être obtenues d'ici 2010 et 2020 respectivement. La moitié de ces réductions potentielles pourraient être obtenues d'ici 2020 avec des bénéfices directs (économies d'énergie) supérieurs aux coûts directs (capital net, coûts d'exploitation et de maintenance) et l'autre moitié à un coût direct net pouvant atteindre 100 dollars américains par t C_{eq} (aux prix de 1998). Ces

→ Q7.15 & Q7 Tableau 7-1

⁶ Le DRE décrivait deux types d'études pour l'estimation des coûts : des études ascendantes, basées sur l'évaluation de technologies et de secteurs spécifiques, et des études descendantes, basées sur des rapports macro-économiques. Voir Encadré 7-1 dans le rapport principal.

⁷ Une méthode axée sur le marché pour la réalisation des objectifs environnementaux qui permet, dans le cas de réductions d'émissions de gaz à effet de serre supérieures aux réductions nécessaires, d'utiliser ou d'échanger les réductions excédentaires pour compenser les émissions d'autres sources intérieures ou extérieures au pays. Ici, le terme est utilisé au sens général afin d'inclure les échanges des droits d'émissions, et la collaboration dans le cadre de projets.

⁸ Les estimations de réduction d'émissions se réfèrent à une tendance de base dont l'ampleur est similaire au scénario B2 du RSSE.

estimations des coûts nets directs sont obtenues à partir de taux d'actualisation de 5 à 12 %, correspondant aux taux d'actualisation du secteur public. Les taux de rentabilité internes privés varient sensiblement, et sont souvent beaucoup plus élevés, et influent sur l'adoption de ces technologies par le secteur privé. En fonction du scénario d'émissions, les émissions mondiales pourraient être réduites jusqu'aux niveaux de 2000 en 2010–2020, à ces coûts directs nets estimés. L'obtention de ces réductions génère des coûts de mise en œuvre supplémentaires, dont certains peuvent être considérables, et exige des politiques de soutien, une recherche et un développement plus importants, un transfert de technologies efficace, et l'élimination d'autres obstacles. Les diverses études mondiales, régionales, et sectorielles et les études de projets évaluées dans le TRE du GTIII ont des portées et des hypothèses différentes. Il n'existe pas d'études pour chaque secteur et chaque région.

Les forêts, terres agricoles et autres écosystèmes terrestres présentent un important potentiel d'atténuation pour ce qui est du carbone. La conservation et le piégeage du carbone, sans être nécessairement permanentes, peuvent permettre d'attendre le développement et la mise en œuvre d'autres options. Il peut

avoir trois stratégies d'atténuation biologique : (a) la conservation des bassins de carbone existants, (b) le piégeage par l'accroissement des bassins de carbone⁹, et (c) le remplacement par des produits biologiques produits durablement. Selon les estimations, le potentiel mondial des options d'atténuation biologique serait de l'ordre de 100 Gt C (cumulatif) en 2050, soit environ 10 à 20 % des émissions de combustibles fossiles prévues pendant cette période, bien que ces estimations fassent l'objet d'un grand nombre d'incertitudes. La réalisation de ce potentiel dépend de la disponibilité des terres et de l'eau ainsi que du rythme de l'adoption des méthodes de gestion des terres. Les régions subtropicales et tropicales offrent le plus important potentiel biologique pour l'atténuation du carbone atmosphérique. Les estimations des coûts d'atténuation biologique fournies à ce jour varient sensiblement entre 0,1 dollars américains et environ 20 dollars américains par t C dans plusieurs pays tropicaux et entre 20 dollars américains et 100 dollars américains par t C dans les pays non tropicaux. Les analyses financières et de comptabilisation du carbone font appel à des méthodes qui ne sont pas comparables. De plus, dans bien des cas, les calculs des coûts ne couvrent pas, entre autre, les infrastructures, l'actualisation appropriée, la surveillance, la collecte des données et les coûts de mise en œuvre, les coûts de substitution des terres et de la maintenance, ou d'autres dépenses récurrentes qui sont souvent exclues ou ignorées. Selon les estimations, la partie inférieure de la fourchette tend vers une sous-estimation, mais la compréhension et le traitement des coûts s'améliorent avec le temps. Des options d'atténuation biologique pourront réduire ou augmenter les émissions de gaz à effet de serre sans CO₂.

→ Q7.4 & Q7.16

Pour les pays visés à l'Annexe B, les estimations des coûts pour l'application du Protocole de Kyoto varient selon les études et les régions, et dépendent considérablement, entre autre, des hypothèses concernant l'utilisation des mécanismes de Kyoto et leur interaction avec les mesures nationales (voir Figure RID-8 pour la comparaison des coûts d'atténuation pour les régions visées à l'Annexe II). La plupart des études mondiales indiquant et comparant ces coûts utilisent des modèles internationaux économiques en énergie. Les incidences suivantes sur le produit intérieur brut (PIB) sont indiquées par neuf de ces études. En l'absence d'échanges de droits d'émissions entre les pays visés à l'Annexe B, ces études prévoient des réductions du PIB¹⁰ de l'ordre de 0,2

→ Q7.17–18

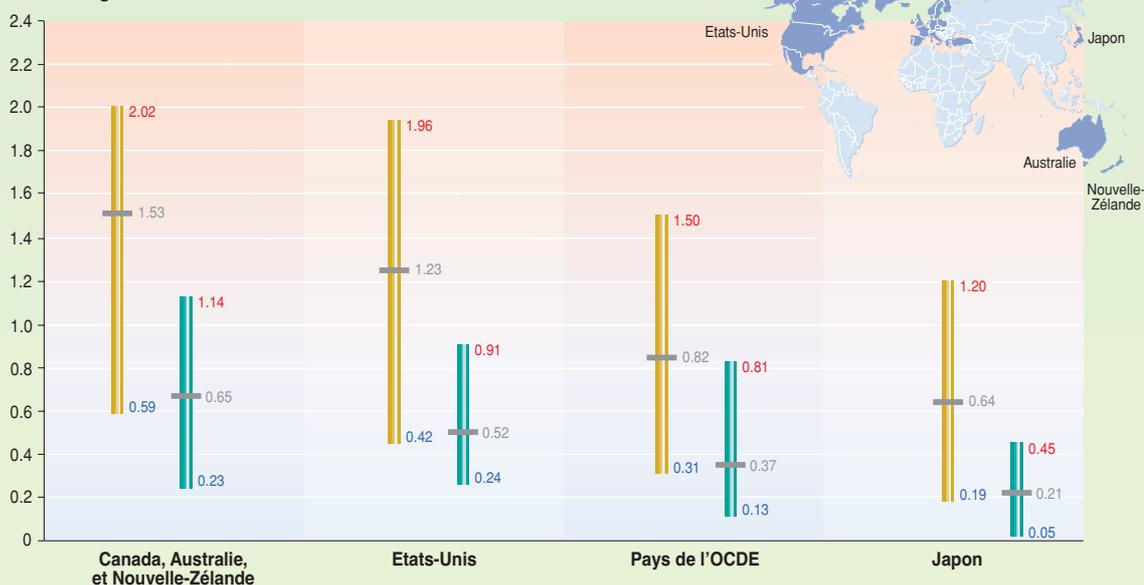
⁹ Les changements d'affectation des terres pourraient influencer sur la concentration atmosphérique de CO₂. Théoriquement, si la totalité du carbone émis à la suite des changements d'affectation des terres par le passé pouvait être restaurée dans la biosphère terrestre au cours du siècle (grâce au reboisement, par exemple), la concentration de CO₂ pourrait diminuer de 40 à 70 ppm).

¹⁰ Les réductions du PIB sont calculées par rapport au PIB de référence prévu pour chaque modèle. Les modèles ont évalué uniquement les réductions de CO₂. A l'opposé, les estimations obtenues dans les analyses ascendantes susmentionnées incluaient tous les gaz à effet de serre. Un grand nombre de méthodes métrologiques informatiques peuvent être utilisées pour présenter les coûts. Par exemple, dans le cas des pays développés, si les coûts annuels associés aux engagements quantifiés pris à Kyoto avec échanges complets des droits d'émissions Annexe B sont de l'ordre de 0,5 % du PIB, ceci représente 125 milliards de dollars américains (1 000 millions) par an, ou 125 dollars américains par personne par an d'ici 2010 dans l'Annexe II (hypothèses du RSSE). Cela correspond à une incidence de moins de 0,1 point de pourcentage sur les taux de croissance économique sur dix ans.

Projections des réductions du PIB et des coûts marginaux dans les pays visés à l'annexe II en 2010 fournies par des modèles mondiaux

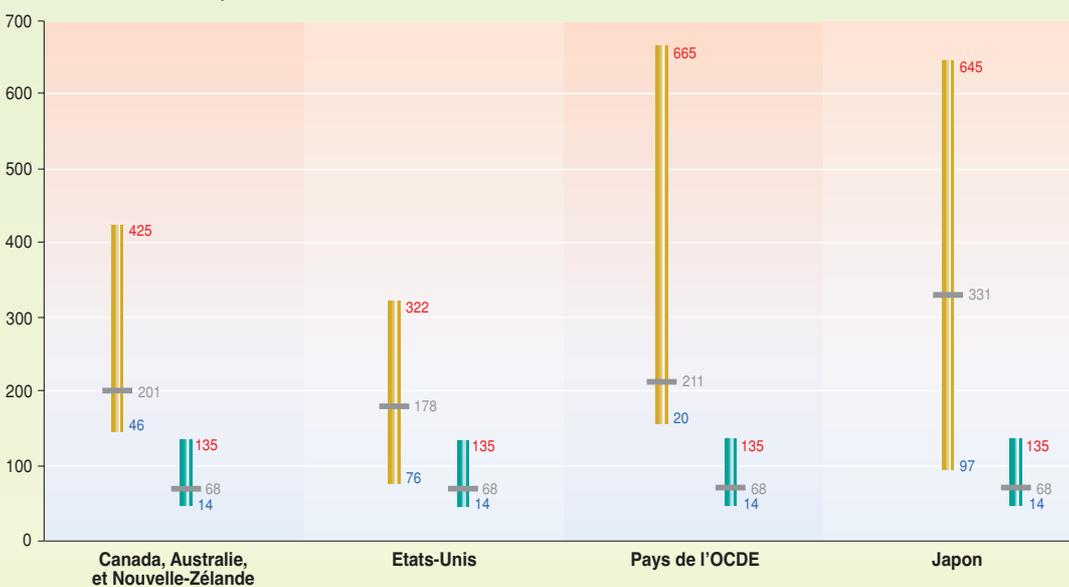
(a) Réductions du PIB

Pourcentage de réduction du PIB en 2010



(b) Coûts marginaux

1990 dollars américains par t C



Ensemble des résultats pour deux scénarios

Les trois chiffres sur chaque barre représentant les projections

Figure RID-8 : Projections des réductions du PIB et des coûts marginaux dans les pays visés à l'Annexe II en 2010 fournies par des modèles mondiaux : (a) Réductions du PIB et (b) coûts marginaux. Les réductions du PIB prévues sont pour 2010 par rapport au PIB de référence des modèles. Ces estimations sont basées sur les résultats obtenus par neuf équipes de modélisation qui ont participé à une étude forum de modélisation sur l'énergie. Les projections illustrées concernent quatre régions qui constituent l'Annexe II. Les modèles ont examiné deux scénarios. Dans le premier, chaque région effectue la réduction prescrite avec uniquement des échanges domestiques des droits d'émissions de carbone. Dans le second, les échanges des droits d'émissions Annexe B sont autorisés et par conséquent, les coûts marginaux sont les mêmes pour toutes les régions. Pour chaque cas ou région, les valeurs maximales, moyennes et minimales des coûts marginaux estimés pour tous les modèles sont indiquées. Pour les facteurs clés, hypothèses et incertitudes sous-jacentes aux études, voir Tableau 7-3 et Encadré 7-1 dans le rapport principal.

➔ Q7.18-19

à 2 % en 2010 pour des régions visées à l'Annexe II. Dans le cas d'échanges complets des droits d'émissions entre les pays visés à l'Annexe II, les réductions prévues pour 2010 sont de 0,1 à 1,1 % du PIB prévu. Les études de modélisation mondiales susmentionnées indiquent des coûts marginaux nationaux pour la satisfaction des objectifs de Kyoto de 20 dollars américains à 600 dollars américains par t C en l'absence d'échanges de droits d'émissions, et de 15 dollars américains à 150 dollars américains par t C avec échanges entre les pays visés à l'Annexe B. Pour la majorité des pays aux économies en transition, les effets sur le PIB vont d'une augmentation négligeable à une augmentation de plusieurs pour cent. Cependant, pour certains de ces pays, la mise en œuvre du Protocole de Kyoto aura les mêmes effets sur le PIB que pour les pays visés à l'Annexe II. Lorsque ces études ont été effectuées, la plupart des modèles n'incluaient pas les puits, les gaz à effet de serre sans CO₂, le Mécanisme de développement propre (CDM), les options à coûts négatifs, les bénéfices accessoires ou un recyclage ciblé des recettes fiscales, qui sont tous des facteurs qui une fois inclus, contribueront à réduire les estimations de coûts. Mais par ailleurs, ces modèles utilisent des hypothèses qui sous-estiment les coûts car ils supposent une utilisation complète des échanges de droits d'émissions sans coûts de transactions, dans les pays visés à l'Annexe B et entre eux, ainsi qu'une efficacité optimale des réponses d'atténuation et un début d'ajustement économique pour la réalisation des objectifs de Kyoto entre 1990 et 2000. Les réductions de coûts obtenues grâce aux mécanismes de Kyoto peuvent dépendre de la structure de la mise en œuvre, notamment de la compatibilité des mécanismes nationaux et internationaux, des contrôles et des coûts de transaction.

Les contrôles des émissions sur les pays visés à l'Annexe I ont des effets de « réaction en chaîne », bien établis, mais divers, sur les pays non visés à l'Annexe I¹¹.

→ Q7.19

Les analyses indiquent des réductions du PIB prévu et des revenus du pétrole prévus pour les pays exportateurs de pétrole non visés à l'Annexe I. L'étude présentant les coûts les plus faibles indique des réductions de 0,2 % du PIB prévu sans échanges des droits d'émission et moins de 0,05 % du PIB prévu avec échanges des droits d'émissions Annexe B en 2010¹². L'étude présentant les coûts les plus élevés indique des réductions de 25 % des revenus du pétrole prévus sans échanges des droits d'émissions, et 13 % des revenus de pétrole prévus avec échanges des droits d'émissions Annexe B en 2010. A l'exception des échanges des droits d'émission Annexe B, ces études ne prennent pas en compte les politiques et les mesures susceptibles d'atténuer les incidences sur les pays exportateurs de pétrole non visés à l'Annexe I. Les effets sur ces pays peuvent être encore réduits par la suppression des subventions pour les combustibles fossiles, la restructuration des taxes sur l'énergie en fonction de la teneur en carbone, une utilisation accrue du gaz naturel, et la diversification des économies des pays exportateurs de pétrole non visés à l'Annexe I. D'autres pays non visés à l'Annexe I peuvent être affectés négativement par des réductions de la demande d'exportations pour les pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) et par l'augmentation du prix des produits à forte teneur en carbone et d'autres produits qu'ils continuent d'importer. Ces autres pays non visés à l'Annexe I peuvent bénéficier de réductions du prix des combustibles, d'exportations accrues de produits à forte teneur en carbone, et du transfert de technologies et de savoir-faire écologiquement rationnels. La possibilité de réimplantation de certaines industries fortes consommatrices de carbone dans des pays non visés à l'Annexe I et des répercussions plus étendues sur les échanges commerciaux en réponse à l'évolution des prix pourraient conduire à des fuites de carbone¹³ de l'ordre de 5 à 20 %.

Le développement et le transfert technologiques sont des composants importants d'une stabilisation rentable.

→ Q7.9–12 & Q7.23

¹¹ Ces effets de « réaction en chaîne » incluent uniquement les effets économiques, et non pas les effets environnementaux.

¹² Ces estimations de coûts peuvent être exprimées sous forme de différences des taux de croissance du PIB pour la période 2000–2010. Sans échanges des droits d'émissions, le taux de croissance du PIB diminue de 0,02 points de pourcentage par an ; avec échanges des droits d'émissions Annexe B, le taux de croissance diminue de moins de 0,005 points de pourcentage par an.

¹³ Les fuites de carbone sont définies ici comme l'augmentation des émissions dans les pays non visés à l'Annexe B en raison de la mise en œuvre des réductions dans l'Annexe B, exprimée sous forme de pourcentage des réductions de l'Annexe B.

Le développement et le transfert de technologies écologiquement rationnelles pourraient avoir un rôle critique pour ce qui est de la réduction des coûts de la stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre. Le transfert de technologies entre les pays et les régions pourrait élargir l'éventail d'options régionales. Des économies d'échelle et d'apprentissage réduiront les coûts de leur adoption. Des cadres de politiques économiques et de réglementation sûrs, ainsi que la transparence et la stabilité politique permettront aux gouvernements de créer un environnement qui facilitera les transferts de technologies dans les secteurs privés et publics. Une capacité suffisante dans le domaine des ressources humaines et organisationnelles est indispensable à chaque stade pour augmenter le nombre et améliorer la qualité des transferts de technologies. De plus, le travail en réseau entre les intervenants des secteurs privés et publics et la concentration sur des produits et des techniques offrant de multiples bénéfices accessoires, qui répondent ou s'adaptent aux besoins et priorités de développement local, sont indispensables à l'efficacité des transferts de technologie.

→ Q7.9-12 & Q7.23

Des scénarios avec des émissions inférieures exigent d'autres schémas de développement des ressources énergétiques et une augmentation de la recherche et du développement sur l'énergie afin d'accélérer le développement et l'utilisation de technologies de pointe et écologiquement rationnelles dans le secteur énergétique. Il est pratiquement certain que les émissions de CO₂ dues à la combustion des combustibles fossiles seront le facteur dominant qui influera sur l'évolution des concentrations atmosphériques de CO₂ au cours du XXI^e siècle. Une évaluation des données sur les ressources fournie par le TRE laisse prévoir une modification de l'utilisation de plusieurs sources d'énergie et l'introduction de nouvelles sources d'énergie au cours du XXI^e siècle. Le choix d'un mélange d'énergies et de technologies et investissements associés — axés sur l'exploitation de ressources en pétrole et gaz non conventionnelles, ou sur des sources d'énergie non fossiles ou de technologies énergétiques fossiles avec piégeage et stockage du carbone — permettra de déterminer si les concentrations de gaz à effet de serre pourront être stabilisées, et dans l'affirmative, à quel niveau et à quel coût.

→ Q7.27

La voie vers la stabilisation et le niveau de stabilisation lui-même seront des facteurs clés des coûts d'atténuation¹⁴.

→ Q7.24–25

La voie adoptée pour atteindre un objectif de stabilisation spécifique aura des répercussions sur les coûts d'atténuation (voir Figure RID–9). Une transition progressive entre le système énergétique mondial actuel et une économie avec moins d'émissions de carbone minimise les coûts associés à la mise au rebut prématurée des biens d'équipement en service, permet d'attendre le développement technologique et permet de dépasser le stade initial des technologies à faibles émissions qui évoluent rapidement. Par ailleurs, une action plus rapide à court terme augmenterait la flexibilité pour atteindre les objectifs de stabilisation, diminuerait les risques pour l'environnement et les êtres humains, ainsi que les coûts associés aux changements climatiques, pourrait stimuler la mise en œuvre plus rapide des technologies à faibles émissions, et fournir de fortes incitations à court terme pour l'évolution technologique future.

→ Q7.24

Des études montrent que les coûts de la stabilisation des concentrations de CO₂ dans l'atmosphère augmentent avec la diminution du niveau de stabilisation des concentrations. Des niveaux de référence différents peuvent avoir une influence considérable sur les coûts absolus (voir Figure RID–9). On observe une augmentation modérée des coûts lorsqu'on passe d'un niveau de stabilisation de concentration de 750 à 550 ppm, mais l'augmentation des coûts est plus grande lorsqu'on passe de 550 à 450 ppm sauf si les émissions dans le scénario de référence sont très faibles. Bien que les projections des modèles indiquent que les mesures d'atténuation n'influent pas sensiblement sur les voies de croissance mondiale du PIB à long terme, elles ne montrent pas les variations plus importantes qui se produisent sur certaines échelles temporelles plus courtes, et dans certains secteurs ou régions. Ces études n'incluent pas le piégeage du carbone et n'examinent pas les effets possibles d'objectifs plus ambitieux sur les changements technologiques induits. De plus, la question de l'incertitude prend une importance accrue au fur et à mesure de l'extension du cadre temporel.

→ Q7.25

¹⁴ Voir Question 6 pour la discussion des incidences des changements climatiques.

Réduction moyenne mondiale du PIB en 2050

Pourcentage de réduction par rapport à la référence

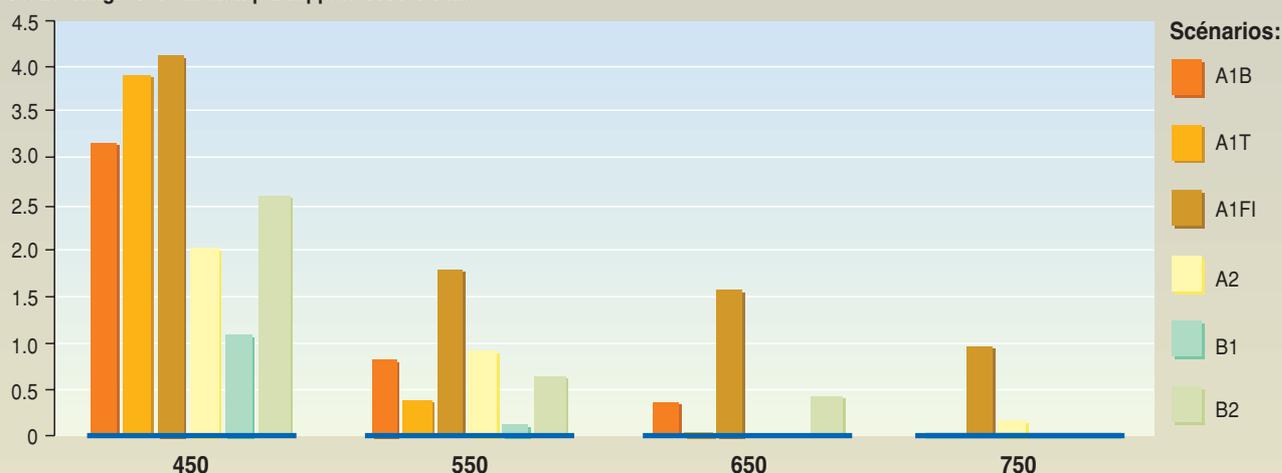


Figure RID-9 : Rapport indicatif en 2050 entre la réduction relative du PIB due aux mesures d'atténuation, les scénarios du RSSE et le niveau de stabilisation. La réduction du PIB tend à augmenter avec l'importance des niveaux de stabilisation, mais le choix du scénario de référence influe considérablement sur les coûts. Ces projections des coûts d'atténuation ne prennent pas en compte les bénéfices potentiels de la prévention de certains changements climatiques (pour une information plus détaillée, voir la légende de la Figure 7-4 du rapport principal).

→ Q7.25

Question 8

Q8

Que sait-on de l'interaction entre les changements climatiques anthropiques et les autres problèmes environnementaux (pollution atmosphérique urbaine, dépôts acides régionaux, diminution de la biodiversité, appauvrissement de l'ozone stratosphérique, et désertification et dégradation des terres, par exemple) ? Que sait-on des coûts et bénéfices environnementaux, sociaux et économiques et des implications de ces interactions pour l'intégration équitable de stratégies de réponse aux changements climatiques dans des stratégies de développement durable plus larges, à l'échelle locale, régionale et mondiale ?

Les problèmes environnementaux locaux, régionaux et mondiaux sont inextricablement liés et ont des répercussions sur le développement durable. Il existe donc des possibilités synergiques pour le développement d'options de réponse plus efficaces à ces problèmes environnementaux qui augmenteront les bénéfices, réduiront les coûts, et répondront aux besoins humains plus durablement.

→ Q8.1-2

Dans bien des cas, la satisfaction des besoins humains est à l'origine d'une détérioration de l'environnement, laquelle à son tour risque de diminuer la capacité à répondre aux besoins actuels et futurs. On peut, par exemple, augmenter les rendements agricoles par une utilisation accrue des engrais azotés, de l'irrigation ou par la transformation des prairies naturelles et des forêts en terres cultivées. Mais ces changements peuvent avoir des répercussions sur le climat mondial en raison de l'émission de gaz à effet de serre, entraîner une dégradation des terres due à l'érosion et à la salinisation des sols, et

→ Q8.3 & Q8.15

contribuer à la diminution de la biodiversité et du piégeage du carbone à la suite de la transformation et de la fragmentation des écosystèmes naturels. De même, la production agricole peut être affectée négativement par les changements climatiques, en particulier dans les régions tropicales et subtropicales, par la diminution de la biodiversité et les modifications des gènes et des espèces, et par la dégradation des terres due à la diminution de la fertilité des sols. Nombre de ces changements ont des effets néfastes sur la sécurité alimentaire et ont des incidences disproportionnées sur les pauvres.

Les principaux facteurs sous-jacents aux changements climatiques anthropiques sont semblables à ceux liés à la majorité des questions environnementales et socio-économiques — à savoir, croissance économique, évolution technologique générale, modes de vie, évolution démographique (effectif de la population, structures par âges et migrations) et structures de l'autorité. Ils peuvent donner lieu à :

- L'accroissement des besoins en ressources naturelles et en énergie ;
- Des imperfections du marché, y compris des subventions qui conduisent à une utilisation inefficace des ressources et constituent un obstacle à la pénétration du marché par des technologies écologiquement rationnelles ; l'absence de reconnaissance de la valeur réelle des ressources naturelles ; l'incapacité à prendre des dispositions financières pour les valeurs mondiales des ressources naturelles au niveau local et l'incapacité à internaliser les coûts de la dégradation environnementale dans la valeur marchande d'une ressource ;
- Une disponibilité et un transfert limités des technologies, une utilisation inefficace des technologies et des investissements insuffisants pour la recherche et le développement des futures technologies ;
- Une gestion inefficace de l'utilisation des ressources naturelles et de l'énergie.

→ Q8.4

Les changements climatiques ont des incidences sur les problèmes environnementaux tels que la diminution de la biodiversité, la désertification, l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique, les ressources d'eau douce et la qualité de l'air, et, réciproquement, un grand nombre de ces problèmes influent sur les changements climatiques. Selon les prévisions, par exemple, les changements climatiques devraient aggraver la pollution atmosphérique régionale et retarder la régénération de la couche d'ozone stratosphérique. Les changements climatiques pourraient également influencer sur la productivité et la composition des écosystèmes terrestres et aquatiques, avec des risques de diminution de la diversité génétique et des espèces dans de nombreuses régions. Réciproquement, la pollution atmosphérique locale et régionale, l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique, les modifications des écosystèmes et la dégradation des terres affectera le climat mondial en modifiant les sources et les puits des gaz à effet de serre, le bilan radiatif de l'atmosphère et l'albédo de surface.

→ Q8.5–20

Les liens entre les problèmes environnementaux locaux, régionaux et mondiaux et leur rapport avec la satisfaction des besoins humains offrent des possibilités d'exploitation des synergies pour développer des options de réponse et pour réduire la vulnérabilité aux changements climatiques, tout en tenant compte de l'interaction de certains problèmes. Un grand nombre d'objectifs environnementaux et développementaux peuvent être atteints grâce à l'adoption d'un large éventail de technologies, de politiques et de mesures qui reconnaissent explicitement les liens inextricables entre les problèmes environnementaux et les besoins humains. La satisfaction des besoins énergétiques, dans le contexte d'une réduction économique de la pollution atmosphérique locale et régionale et des changements climatiques mondiaux, exige une évaluation interdisciplinaire des synergies et des interactions des moyens utilisés pour répondre aux besoins énergétiques le plus économiquement, et le plus durablement au plan environnemental et social. Les émissions de gaz à effet de serre et la pollution locale et régionale pourraient être réduites par une utilisation plus efficace de l'énergie et par l'utilisation accrue de combustibles fossiles émettant moins de carbone, de technologies de pointe sur les combustibles fossiles (turbines à gaz à cycle combiné extrêmement performantes, cellules combustibles, et systèmes combinant la chaleur et l'énergie, par exemple) et de technologies à énergie renouvelable (utilisation accrue de biocombustibles écologiquement rationnels, de l'énergie hydroélectrique, solaire, éolienne, ou de l'énergie des vagues, par exemple). On peut également réduire l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère en améliorant l'absorption du carbone, grâce, par exemple, à l'afforestation, au reboisement, au ralentissement du déboisement et à une meilleure gestion des

→ Q8.21–25

forêts, des grands pâturages libres, des zones humides et des terres cultivables, mesures qui peuvent avoir des effets positifs sur la biodiversité, la production alimentaire, les terres et les ressources en eau. Une réduction de la vulnérabilité aux changements climatiques peut souvent réduire la vulnérabilité à d'autres stress environnementaux, et inversement. Dans certains cas, il existe des interactions. Dans certaines mises en œuvre, par exemple, les monocultures peuvent appauvrir la biodiversité locale.

La capacité d'adaptation et d'atténuation des pays peut être améliorée lorsque les politiques climatiques sont intégrées dans des politiques de développement nationales à composantes économiques, sociales et environnementales. Les options d'atténuation et d'adaptation climatiques peuvent produire des bénéfices accessoires qui répondent aux besoins humains, améliorent le bien-être et entraînent d'autres bénéfices environnementaux. Les pays aux ressources économiques limitées et à faible niveau technologique sont souvent très vulnérables aux changements climatiques et à d'autres problèmes environnementaux.

→ Q8.26-27

Il existe une interdépendance élevée entre les questions d'ordre environnemental qui font l'objet d'accords environnementaux multilatéraux ; la mise en œuvre de ces accords peut tirer profit de certaines synergies. Des problèmes concernant l'environnement mondial font l'objet de conventions et accords individuels, et d'accords régionaux. Ces accords peuvent contenir, entre autres, des questions d'intérêt commun et des besoins similaires pour atteindre des objectifs généraux — plans de mise en œuvre, collecte et traitement des données, renforcement de la capacité humaine et infrastructurelle, et obligations de communication de données, par exemple. Ainsi, bien que différentes, la Convention de Vienne pour la protection de la couche d'ozone et la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques sont scientifiquement interdépendantes, étant donné que de nombreux composés qui contribuent à l'appauvrissement de la couche d'ozone sont également d'importants gaz à effet de serre et que certains produits de substitution destinés à remplacer les substances qui appauvrissent la couche d'ozone désormais interdites sont des gaz à effet de serre.

→ Q8.11 & Q8.28

Question 9

Q9

Quelles sont les conclusions les plus robustes et les incertitudes clés en ce qui concerne l'attribution des changements climatiques et les projections à propos :

- des futures émissions de gaz à effet de serre et d'aérosols ?
- des futures concentrations de gaz à effet de serre et d'aérosols ?
- des futurs changements climatiques régionaux et mondiaux ?
- des incidences régionales et mondiales des changements climatiques ?
- des coûts et bénéfices des options d'atténuation et d'adaptation ?

Dans le présent rapport, on entend par une **conclusion robuste** en matière de changements climatiques un résultat qui reste valable avec diverses approches, méthodes, modèles et hypothèses, et sur lequel les incertitudes seront relativement sans effet. Dans ce contexte, on entend par **incertitudes clés** des incertitudes qui, si elles sont réduites, peuvent donner lieu à de nouvelles conclusions robustes à propos des questions du présent rapport. Dans les exemples du Tableau RID-3, un grand nombre des conclusions robustes concernent l'*existence* d'une réponse du climat aux activités humaines et la forme cette réponse. De nombreuses incertitudes clés concernent la *quantification* de l'ampleur et/ou de l'échelle temporelle de la réponse. Le tableau présente une attribution des changements climatiques, et analyse les questions illustrées à la Figure RID-1. La Figure RID-10 illustre certaines des principales conclusions robustes sur les changements climatiques. Le Tableau RID-3 fournit des exemples et n'est pas une liste exhaustive.

Tableau RID-3 Conclusions robustes et incertitudes clés. ^a		
Conclusions robustes		Incertitudes clés
<p>Les observations mettent en évidence un réchauffement de la surface de la terre. A l'échelle mondiale, les années 1990 sont très probablement la décennie la plus chaude du relevé instrumental (Figure RID-10b). [Q9.8]</p> <p>Concentrations atmosphériques des principaux gaz à effet de serre anthropiques. (CO₂ (Figure RID-10a), CH₄, N₂O, et O₃ troposphérique) ont augmenté sensiblement depuis 1750. [Q9.10]</p> <p>Certains gaz à effet de serre ont une longue durée de vie (CO₂, N₂O et PFC, par exemple). [Q9.10]</p> <p>La majorité du réchauffement observé au cours des cinquante ans passés est due probablement à l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre résultant des activités humaines. [Q9.8]</p>	<p>Changements climatiques et attribution</p>	<p>Ampleur et caractère de la variabilité naturelle du climat. [Q9.8]</p> <p>Forçages climatiques dus aux facteurs naturels et aux aérosols anthropiques (effets indirects, principalement). [Q9.8]</p> <p>Liens entre les tendances régionales et les changements climatiques anthropiques. [Q9.8 & Q9.22]</p>
<p>Il est pratiquement certain que l'augmentation des concentrations de CO₂ au cours du XXI^e siècle sera due aux émissions de combustibles fossiles (Figure RID-10a). [Q9.11]</p> <p>La stabilisation des concentrations atmosphériques de CO₂ à 450, 650 ou 1 000 ppm exigera une réduction des émissions de CO₂ anthropiques mondiales au dessous des niveaux de 1990 en l'espace de quelques décennies, d'un ou de deux siècles environ, respectivement, suivi d'une réduction continue jusqu'à un faible pourcentage des émissions actuelles. Les émissions devraient culminer en une ou deux décennies (450 ppm) et environ un siècle (1 000 ppm) à compter des valeurs actuelles. [Q9.30]</p> <p>Pour la plupart des scénarios du RSSE, les émissions de SO₂ (précurseur des aérosols sulfatés) sont inférieures en 2100 par rapport à 2000. [Q9.10]</p>	<p>Émissions et concentrations futures des gaz à effet de serre et aérosols basées sur des modèles et des projections avec scénarios du RSSE et scénarios de stabilisation</p>	<p>Hypothèses sous-jacentes au large éventail^b de scénarios d'émissions du RSSE concernant la croissance économique, l'évolution technologique, l'évolution démographique et les structures de gouvernance (à l'origine des plus importantes incertitudes dans les projections). Scénarios d'émissions inappropriés pour les précurseurs de l'ozone et des aérosols). [Q9.10]</p> <p>Facteurs de la modélisation du cycle du carbone, y compris les effets des rétroactions climatiques^b. [Q9.10]</p>
<p>Très probablement, la température moyenne mondiale à la surface au cours du XXI^e siècle augmentera à un rythme sans précédent pendant les 10 000 ans passés (Figure RID-10b). [Q9.13]</p> <p>Très probablement, la quasi totalité des zones terrestres se réchaufferont plus que la moyenne mondiale, avec augmentation du nombre de jours chauds et de vagues de chaleur et diminution du nombre de jours froids et de vagues de froid. [Q9.13]</p> <p>Le niveau de la mer s'élèvera au cours du XXI^e siècle et cette élévation se poursuivra pendant des siècles. [Q9.15]</p> <p>Les cycles hydrologiques seront plus intenses. Il y aura très probablement une augmentation des précipitations moyennes mondiales, et les précipitations seront plus intenses sur un grand nombre de régions. [Q9.14]</p> <p>Augmentation probable de la sécheresse estivale et des risques associés de sécheresse sur les zones intérieures continentales à moyenne latitude. [Q9.14]</p>	<p>Futurs changements climatiques à l'échelle régionale et mondiale basés sur des projections de modèles avec scénarios du RSSE</p>	<p>Hypothèses associées à un large éventail^c de scénarios du RSSE, comme précédemment. [Q9.10]</p> <p>Facteurs associés aux projections de modèles^c, en particulier sensibilité du climat, forçage du climat et rétroactions, en particulier à propos de la vapeur d'eau, des nuages et des aérosols (y compris les effets indirects des aérosols). [Q9.16]</p> <p>Compréhension de la distribution théorique associée aux projections des températures et du niveau de la mer. [Q9.16]</p> <p>Mécanismes, quantifications, échelles temporelles et probabilités associés aux changements abrupts/non-linéaires à grande échelle (circulation thermohaline océanique, par exemple). [Q9.16]</p> <p>Capacités des modèles aux échelles régionales (précipitations notamment) donnant lieu à des projections contradictoires et des difficultés quant à la quantification aux échelles locales et régionales. [Q9.16]</p>
<p>^a Dans le présent rapport, on entend par conclusion robuste au sujet des changements climatiques un résultat qui reste valable avec diverses approches, méthodes, modèles et hypothèses, et sur lequel les incertitudes seront relativement sans effet. Dans ce contexte, on entend par incertitudes clés des incertitudes qui, si elles sont réduites, peuvent donner lieu à de nouvelles conclusions robustes à propos des questions du présent rapport. Ce tableau fournit des exemples et n'est pas une liste exhaustive.</p> <p>^b La prise en compte des incertitudes ci-dessus conduit à une fourchette de concentrations de CO₂ en 2100 entre 490 et 1 260 ppm environ.</p> <p>^c La prise en compte des incertitudes ci-dessus conduit à une fourchette de 1,4 à 5,8°C (Figure RID-10b) pour l'augmentation de température moyenne mondiale à la surface, 1900-2100, et une élévation moyenne du niveau de la mer mondial de 0,09 à 0,88 m.</p>		

Tableau RID-3 Conclusions robustes et incertitudes clés. ^a	
Conclusions robustes	Incertitudes clés
<p>Les changements climatiques prévus auront des effets bénéfiques et néfastes sur les systèmes environnementaux et socio-économiques, mais plus les changements et leur rythme seront grands, plus les effets néfastes prédomineront. [Q9.17]</p> <p>Les effets néfastes des changements climatiques s'exerceront de façon disproportionnée sur les pays en développement et les pauvres de ces pays. [Q9.20]</p> <p>Les écosystèmes et les espèces sont vulnérables aux changements climatiques et autres contraintes (comme le montrent les effets observés de récentes variations de températures locales) et certains seront endommagés ou détruits irréversiblement. [Q9.19]</p> <p>A certaines moyennes et hautes latitudes, la productivité végétale (arbres et certaines cultures agricoles) pourrait augmenter dans le cas de faibles augmentations de température. La productivité végétale devrait diminuer dans la plupart des régions du monde dans le cas d'un réchauffement supérieur à quelques (« a few ») °C. [Q9.18]</p> <p>De nombreux systèmes physiques sont vulnérables aux changements climatiques (par exemple, les effets des ondes de tempête côtières seront exacerbés par l'élévation du niveau de la mer, et les glaciers et le pergélisol continueront de régresser). [Q9.18]</p>	<p>Incidences régionales et mondiales des changements climatiques moyens et extrêmes</p> <p>Fiabilité des données locales ou régionales dans les projections de changements climatiques, en particulier pour les extrêmes climatiques. [Q9.22]</p> <p>Évaluation et prévision de la réponse des systèmes écologiques, sociaux (effets des maladies à transmission vectorielle et maladies d'origine hydrique, par exemple) et économiques face à l'effet cumulé des changements climatiques et autres contraintes, telles que les changements de l'affectation des terres, la pollution locale, etc. [Q9.22]</p> <p>Identification, quantification et évaluation des dommages associés aux changements climatiques. [Q9.16, Q9.22 & Q9.26]</p>
<p>Les mesures de réduction (atténuation) des émissions de gaz à effet de serre diminueraient les pressions sur les systèmes naturels et humains dues aux changements climatiques. [Q9.28]</p> <p>Les coûts de l'atténuation varient selon les régions et les secteurs. Il existe d'importantes possibilités technologiques et autres qui permettraient de réduire ces coûts. Des échanges des droits d'émission efficaces diminueraient également les coûts pour les participants à ces échanges. [Q9.31 & Q9.35-36]</p> <p>Les contrôles des émissions pour les pays visés à l'Annexe I ont des effets « de réaction en chaîne » bien établis, mais divers, sur les pays non visés à l'Annexe I. [Q9.32]</p> <p>Face aux changements climatiques, les réponses d'atténuation nationales peuvent être plus efficaces si elles sont mises en œuvre dans le cadre d'un ensemble de politiques visant à limiter ou réduire les émissions nettes de gaz à effet de serre. [Q9.35]</p> <p>Potentiellement, l'adaptation peut diminuer les effets néfastes des changements climatiques et peut souvent entraîner des bénéfices accessoires immédiats, sans toutefois prévenir la totalité des dommages. [Q9.24]</p> <p>L'adaptation peut être complémentaire à l'atténuation dans le cadre d'une stratégie rentable de réduction des risques des changements climatiques ; conjointement, elles peuvent contribuer à la réalisation d'objectifs de développement durable. [Q9.40]</p> <p>L'inertie au sein des systèmes climatiques, écologiques et socio-économiques en interaction est une cause importante de l'effet positif de mesures d'adaptation et d'atténuation anticipées. [Q9.39]</p>	<p>Futurs changements climatiques à l'échelle régionale et mondiale basés sur des projections de modèles avec scénarios du RSSE</p> <p>Compréhension des interactions entre les changements climatiques et d'autres problèmes environnementaux et des implications socio-économiques connexes. [Q9.40]</p> <p>Futur prix de l'énergie, et coût et disponibilité des technologies à faibles émissions. [Q9.33-34]</p> <p>Identification des moyens pour éliminer les obstacles qui empêchent l'adoption de technologies à faibles émissions, et estimation des coûts pour surmonter ces obstacles. [Q9.35]</p> <p>Quantification des coûts des mesures d'atténuation non planifiées avec effets à court terme soudains. [Q9.38]</p> <p>Quantification des estimations des coûts générés par différentes méthodes (ascendante/descendante, par exemple), y compris les bénéfices accessoires, l'évolution technologique, et les effets sur les secteurs et les régions. [Q9.35]</p> <p>Quantification des coûts d'adaptation. [Q9.25]</p>

Des progrès significatifs ont été faits dans le TRE dans plusieurs domaines de connaissances nécessaires à la compréhension des changements climatiques et de la réponse humaine à ces changements. Mais d'autres recherches devront être menées dans de nombreux domaines importants, en particulier :

- La détection et l'attribution des changements climatiques ;
- La compréhension et la prévision des changements climatiques régionaux et des extrêmes climatiques ;
- La quantification des incidences des changements climatiques à l'échelle mondiale, régionale et locale ;
- L'analyse des mesures d'adaptation et d'atténuation ;
- L'intégration de tous les aspects du problème des changements climatiques dans des stratégies de développement durable ;
- Des études complètes et intégrées contribuant à préciser la définition « d'une perturbation anthropique dangereuse du système climatique ».

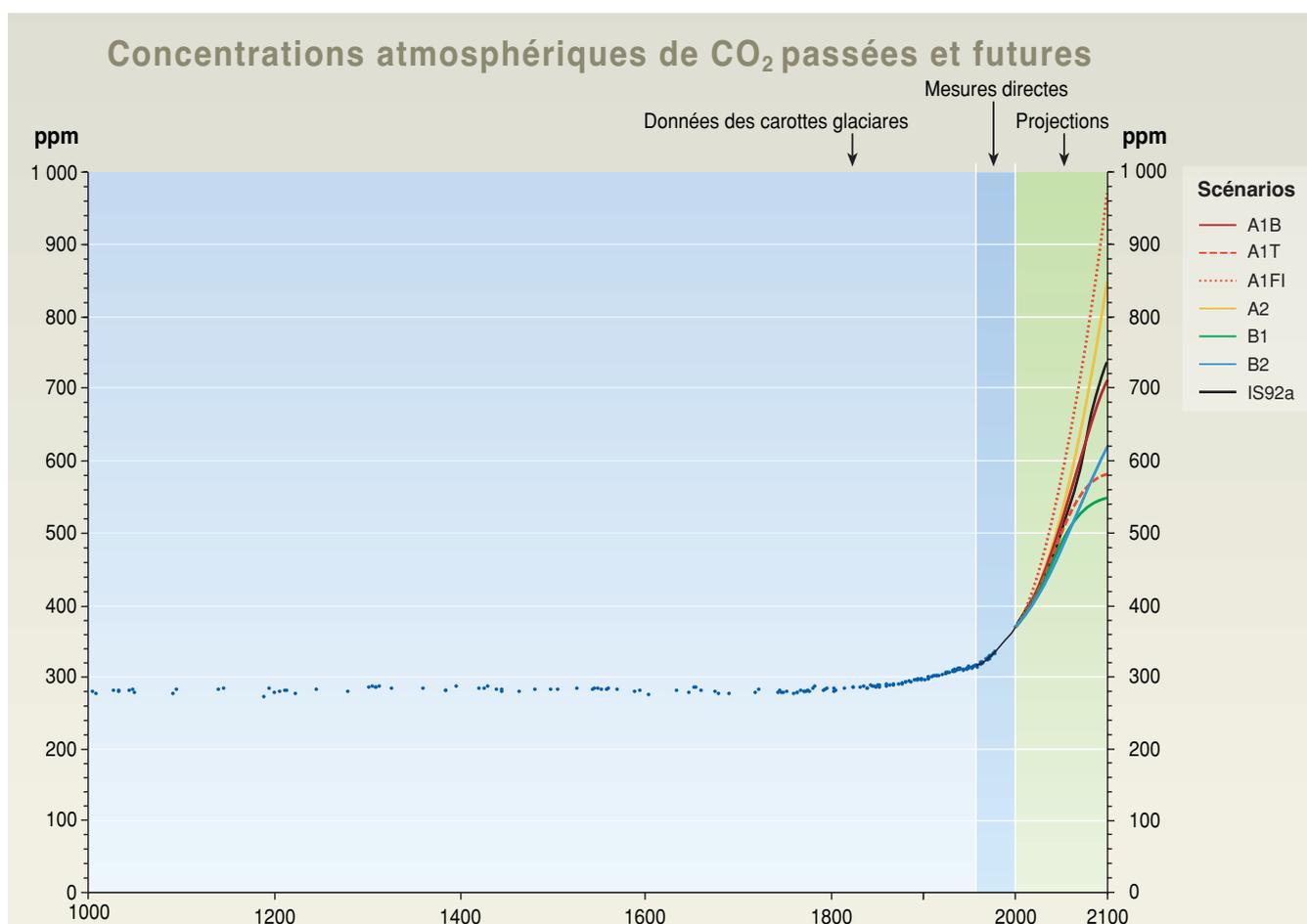


Figure RID-10a : Concentrations atmosphériques de CO₂ entre 1000 et 2000 obtenues à partir des données des carottes glaciaires et des mesures atmosphériques directes au cours des quelques dernières décennies. Les projections des concentrations de CO₂ pour la période 2000 à 2100 sont basées sur les six scénarios d'illustration du RSSE et IS92a (pour une comparaison avec le DRE).

➔ Q9 Figure 9-1a

Variations de la température à la surface de la terre: période 1000 - 2100

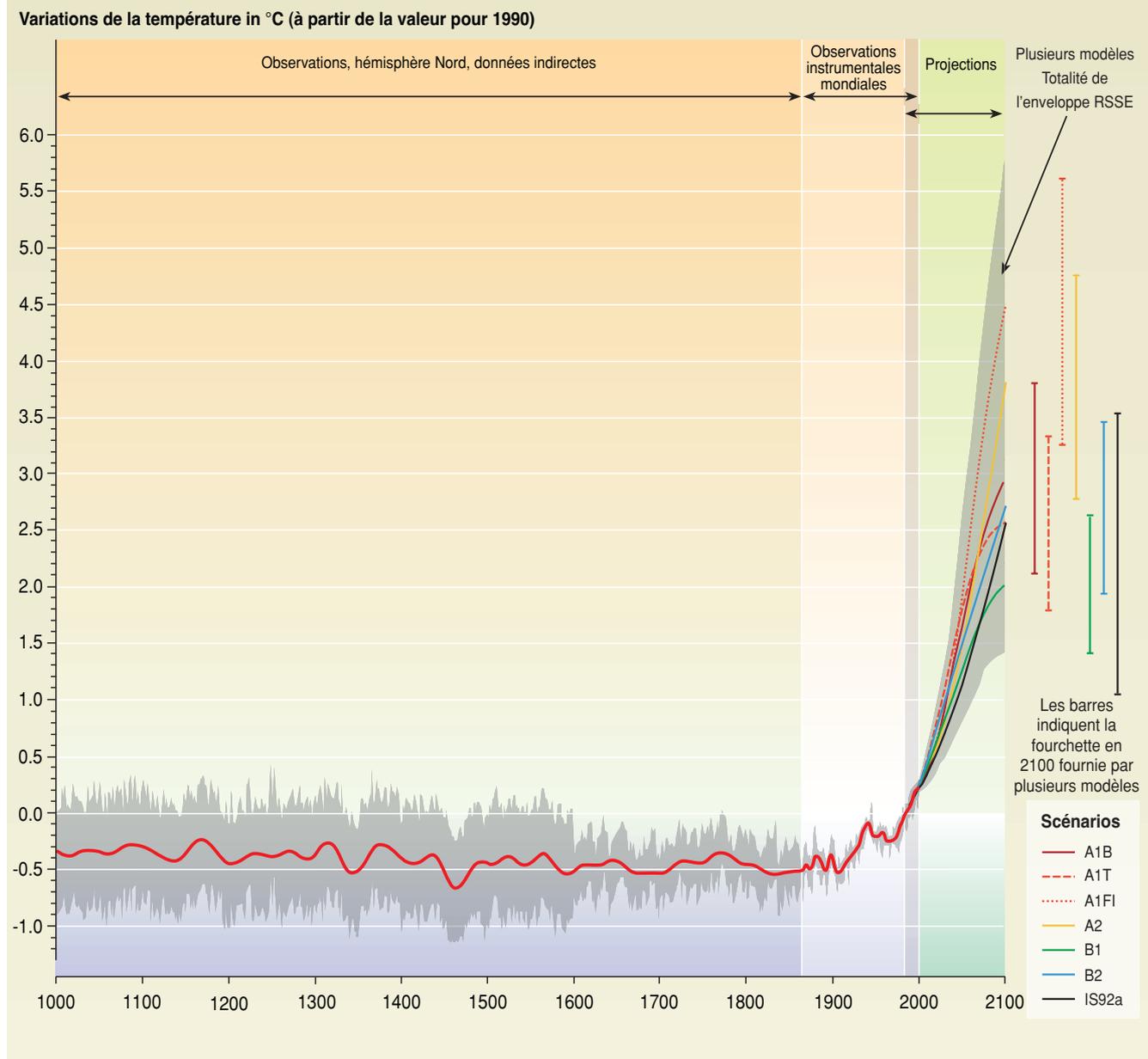


Figure RID-10b : Variations de la température à la surface de la terre : Période 1000-2100.

Les variations des températures moyennes à la surface de l'hémisphère Nord pour la période 1000-1860 sont représentées (des données correspondantes pour l'hémisphère Sud ne sont pas disponibles) reconstituées à partir de données indirectes (cernes d'arbres, coraux, carottes glaciaires et données historiques). La ligne indique la moyenne de cinquante ans, la partie grise la limite de confiance de 95 % dans les données annuelles. De 1860 à 2000, les variations des observations des températures moyennes mondiales et annuelles à la surface obtenues par relevé instrumental sont indiquées ; la ligne représente la moyenne décennale. De 2000 à 2100, les projections des températures moyennes mondiales à la surface sont indiquées pour les six scénarios d'illustration du RSSE et IS92a utilisant un modèle avec une sensibilité du climat moyenne. La partie grise intitulée « plusieurs modèles totalité de l'enveloppe RSSE » représente la fourchette de résultats obtenus avec l'ensemble complet des 35 scénarios du RSSE en plus de ceux obtenus à partir de modèles avec des sensibilités du climat différentes. L'échelle de température illustre les variations par rapport à la valeur pour 1990 ; l'échelle est différente de celle utilisée à la Figure RID-2.



Q9 Figure 9-1b