

# Rapport du Groupe de travail I du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

---

## Résumé à l'intention des décideurs

---

### Auteurs principaux ayant participé au projet de texte:

Richard B. Alley, Terje Berntsen, Nathaniel L. Bindoff, Zhenlin Chen, Amnat Chidthaisong, Pierre Friedlingstein, Jonathan M. Gregory, Gabriele C. Hegerl, Martin Heimann, Bruce Hewitson, Brian J. Hoskins, Fortunat Joos, Jean Jouzel, Vladimir Kattsov, Ulrike Lohmann, Martin Manning, Taroh Matsuno, Mario Molina, Neville Nicholls, Jonathan Overpeck, Dahe Qin, Graciela Raga, Venkatachalam Ramaswamy, Jiawen Ren, Matilde Rusticucci, Susan Solomon, Richard Somerville, Thomas F. Stocker, Peter A. Stott, Ronald J. Stouffer, Penny Whetton, Richard A. Wood, David Wratt

### Auteurs collaborateurs ayant participé au projet de texte:

J. Arblaster, G. Brasseur, J.H. Christensen, K.L. Denman, D.W. Fahey, P. Forster, E. Jansen, P.D. Jones, R. Knutti, H. Le Treut, P. Lemke, G. Meehl, P. Mote, D.A. Randall, D.A. Stone, K.E. Trenberth, J. Willebrand, F. Zwiers

### Références à la documentation source pour le Résumé à l'intention des décideurs:

GIEC, 2007: Résumé à l'intention des décideurs. In: *Changements climatiques 2007 : Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (éds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK et New York, NY, USA.

## Introduction

La contribution du Groupe de travail I au quatrième Rapport d'évaluation du GIEC décrit les progrès accomplis dans la compréhension des causes humaines et naturelles des changements climatiques<sup>1</sup>, le changement climatique observé, les processus climatiques et leur rôle dans ce changement, ainsi que les estimations du changement climatique futur résultant de simulations. Elle est construite sur la base des évaluations précédentes du GIEC et intègre les nouveaux résultats des six dernières années de recherche. Les progrès scientifiques depuis le troisième Rapport reposent sur de nombreuses données nouvelles et plus exhaustives, sur des analyses plus élaborées des données, sur des améliorations dans la compréhension des processus et dans leur simulation par des modèles et sur une exploration plus complète des fourchettes d'incertitude.

Les informations de référence ayant servi de base aux plus importants paragraphes du Résumé à l'intention des décideurs se trouvent dans les sections des chapitres indiquées entre accolades.

## Facteurs humains et naturels des changements climatiques

*Les changements de la teneur de l'atmosphère en gaz à effet de serre et en aérosols, du rayonnement solaire et des propriétés de la surface des terres altèrent le bilan énergétique du système climatique. Ces changements sont exprimés en termes de forçage radiatif<sup>2</sup>, qui est utilisé pour comparer la façon dont une série de facteurs humains et naturels provoquent un réchauffement ou un refroidissement du climat mondial. Depuis la publication du troisième Rapport d'évaluation, de nouvelles observations et modélisations associées des gaz à effet de serre, de l'activité solaire, des propriétés de la surface du sol, ainsi que certains aspects d'aérosols ont permis d'améliorer l'estimation quantitative du forçage radiatif.*

**Les concentrations atmosphériques mondiales de dioxyde de carbone, de méthane et d'oxyde nitreux ont fortement augmenté en conséquence des activités humaines entreprises depuis 1750, et dépassent aujourd'hui largement les valeurs préindustrielles déterminées à partir des carottes de glace couvrant plusieurs milliers d'années (voir figure RID.1). L'augmentation mondiale de la concentration en dioxyde de carbone est essentiellement due à l'utilisation des combustibles fossiles et aux changements d'affectation des terres, tandis que la concentration accrue de méthane et d'oxyde nitreux est essentiellement due à l'agriculture. {2.3, 6.4, 7.3}**

- Le dioxyde de carbone est le plus important gaz à effet de serre d'origine anthropique (voir figure RID.2). La concentration atmosphérique mondiale de dioxyde de carbone a augmenté d'une valeur préindustrielle d'environ 280 ppm à 379 ppm en 2005<sup>3</sup>. D'après les analyses des carottes de glace, la concentration atmosphérique de dioxyde de carbone en 2005 dépasse largement les variations naturelles durant les 650 000 dernières années (180–300 ppm). Le rythme d'accroissement annuel de la concentration de dioxyde de carbone a été plus rapide au cours des 10 dernières années (1,9 ppm par an en moyenne pour 1995–2005) que depuis le début des mesures directes atmosphériques continues (1,4 ppm par an en moyenne pour 1960–2005), bien qu'il y ait une variabilité du taux de croissance d'une année sur l'autre. {2.3, 7.3}
- La source principale de l'augmentation de la concentration du dioxyde de carbone dans l'atmosphère depuis l'époque préindustrielle provient de l'utilisation des combustibles fossiles, les changements de l'affectation des terres constituant une autre contribution importante mais moins élevée. Les émissions annuelles de dioxyde de carbone fossile<sup>4</sup> ont augmenté de 6,4 [de 6,0 à 6,8<sup>5</sup>]

<sup>1</sup> Par *changement climatique*, le GIEC entend toute évolution du climat dans le temps, qu'elle soit due à la variabilité naturelle ou aux activités humaines. Cet usage est différent de celui de la Convention-cadre sur le changement climatique pour laquelle le changement climatique désigne un changement climatique attribué directement ou indirectement aux activités humaines qui modifient la composition de l'atmosphère mondiale, et s'ajoutant à la variabilité climatique naturelle observée sur des périodes de temps comparables.

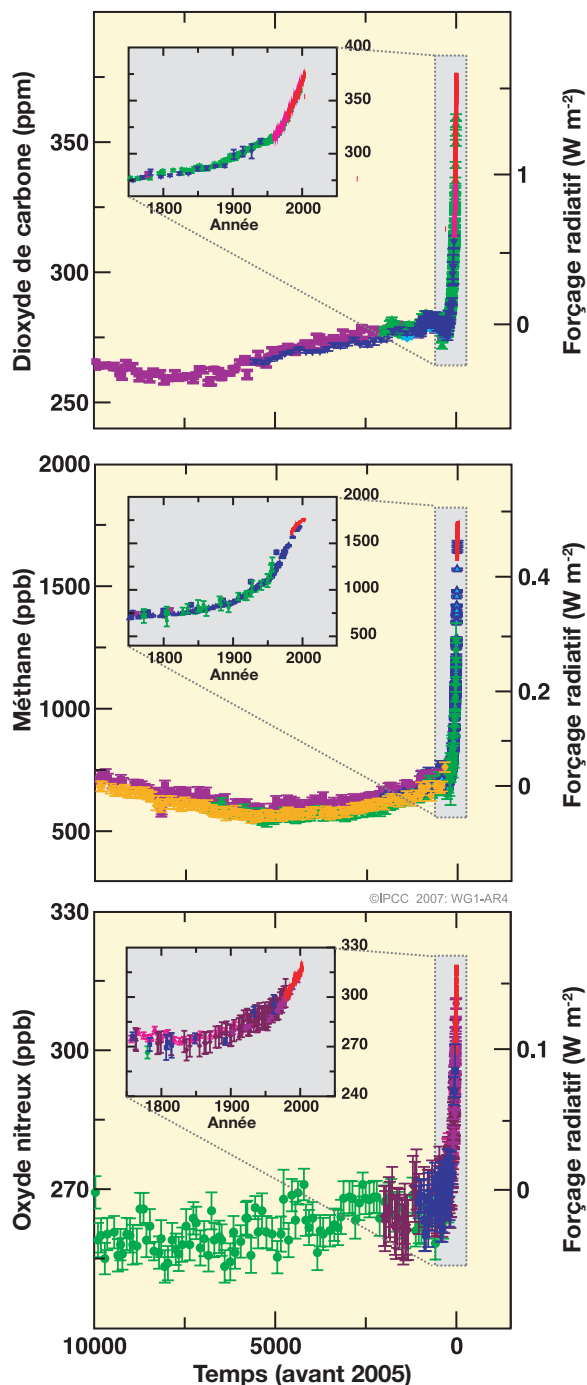
<sup>2</sup> Le *forçage radiatif* est une mesure de l'influence d'un facteur dans la modification de l'équilibre entre l'énergie qui entre dans l'atmosphère terrestre et celle qui en sort, et constitue un indice de l'importance de ce facteur en tant que mécanisme potentiel du changement climatique. Un forçage positif tend à réchauffer la surface et un forçage négatif à la refroidir. Dans le présent Rapport, les valeurs du forçage radiatif sont données pour l'année 2005 par rapport aux conditions préindustrielles définies comme celles de 1750 et sont exprimées en watt par mètre carré ( $Wm^{-2}$ ). Voir le glossaire et la section 2.2 pour plus de détails.

<sup>3</sup> ppm (parties par millions) ou ppb (parties par milliards) désigne le rapport du nombre de molécules de gaz à effet de serre au nombre de molécules d'air sec. Par exemple : 300 ppm signifie 300 molécules de gaz à effet de serre par million de molécules d'air sec.

<sup>4</sup> Les émissions de dioxyde de carbone fossile comprennent celles qui proviennent de la production, de la distribution et de la consommation des combustibles fossiles, ainsi que le sous-produit de la production de ciment. Une émission de 1 GtC correspond à 3,67 GtCO<sub>2</sub>.

<sup>5</sup> En règle générale, les fourchettes d'incertitude sur les résultats fournis dans ce Résumé à l'intention des décideurs sont, sauf indication contraire, des intervalles à 90%, c'est-à-dire qu'il y a une probabilité de 5% pour que la valeur soit au-dessus de la fourchette, et une probabilité de 5% qu'elle soit en-dessous. Les meilleures estimations disponibles sont fournies. Les fourchettes d'incertitude ne sont pas toujours symétriques autour de la valeur la plus probable. A noter que de nombreuses fourchettes d'incertitude dans le troisième Rapport d'évaluation du Groupe de travail I correspondaient à 2 sigma (95%), et étaient souvent fondées sur des jugements experts.

### ÉVOLUTION DES GAZ À EFFET DE SERRE TIRÉE DE DONNÉES OBTENUES À PARTIR DES CAROTTES DE GLACE ET DE MESURES RÉCENTES



**Figure RID.1.** Concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone, de méthane et d'oxyde nitreux durant les 10 000 dernières années (grands panneaux) et depuis 1750 (inserts). Les mesures sont déduites des carottes de glace (symboles de couleurs différentes pour diverses études) et d'échantillons atmosphériques (lignes rouges). Les forçages radiatifs correspondants sont indiqués sur les axes à la droite des grands panneaux. {Figure 6.4}

GtC (23,5 [de 22,0 à 25,0] GtCO<sub>2</sub>) par an pour la période 1990–1999 à 7,2 [de 6,9 à 7,5] GtC (26,4 [de 25,3 à 27,5] GtCO<sub>2</sub>) par an pour la période 2000–2005 (pour 2004 et 2005 l'estimation des données est intérimaire). Les émissions de dioxyde de carbone provenant du changement de l'affectation des terres de 1990 à 1999 sont estimées à 1,6 [de 0,5 à 2,7] GtC (5,9 [de 1,8 à 9,9] GtCO<sub>2</sub>) par an, bien que ces estimations comportent une large part d'incertitude. {7.3}

- La concentration atmosphérique mondiale du méthane est passée de 715 ppb à l'époque préindustrielle à 1732 ppb au début des années 1990, pour atteindre 1774 ppb en 2005. En 2005, la concentration atmosphérique de méthane dépasse de loin les variations naturelles des 650 000 dernières années (320 à 790 ppb), déduites des carottes de glace. Le taux de croissance a diminué depuis le début des années 1990, en cohérence avec les émissions totales (somme des sources anthropiques et naturelles) pratiquement constantes au cours de cette période. Il est *très probable*<sup>6</sup> que l'augmentation observée de la concentration de méthane soit d'origine humaine, provenant essentiellement de l'agriculture et de l'utilisation des combustibles fossiles ; cependant, la contribution exacte de chaque source n'est pas bien déterminée. {2.3, 7.4}
- La concentration atmosphérique globale d'oxyde nitreux est passée de 270 ppb à l'époque préindustrielle à 319 ppb en 2005. Le taux de croissance est resté relativement constant depuis 1980. Plus du tiers des émissions totales d'oxyde nitreux est d'origine humaine et essentiellement dû à l'agriculture. {2.3, 7.4}

**Depuis la publication du TRE, la compréhension des influences humaines sur le réchauffement et le refroidissement climatique s'est améliorée, et c'est avec un degré de *très haute confiance*<sup>7</sup> que l'on peut affirmer que l'effet global moyen net des activités humaines depuis 1750 a été le réchauffement, avec un forçage radiatif de +1,6 [de +0,6 à +2,4] W m<sup>-2</sup> (voir Figure RT.2). {2.3, 6.5, 2.9}**

<sup>6</sup> Dans ce Résumé à l'intention des décideurs les termes suivants ont été utilisés, d'après l'avis des experts, pour indiquer la probabilité estimée d'une conséquence ou d'un résultat : *Pratiquement certain* > 99%, *Extrêmement probable* > 95%, *Très probable* > 90%, *Probable* > 66%, *Plutôt probable* > 50%, *Improbable* < 33%, *Très improbable* < 10%, *Extrêmement improbable* < 5% (voir encadré RT.1 pour plus de détails).

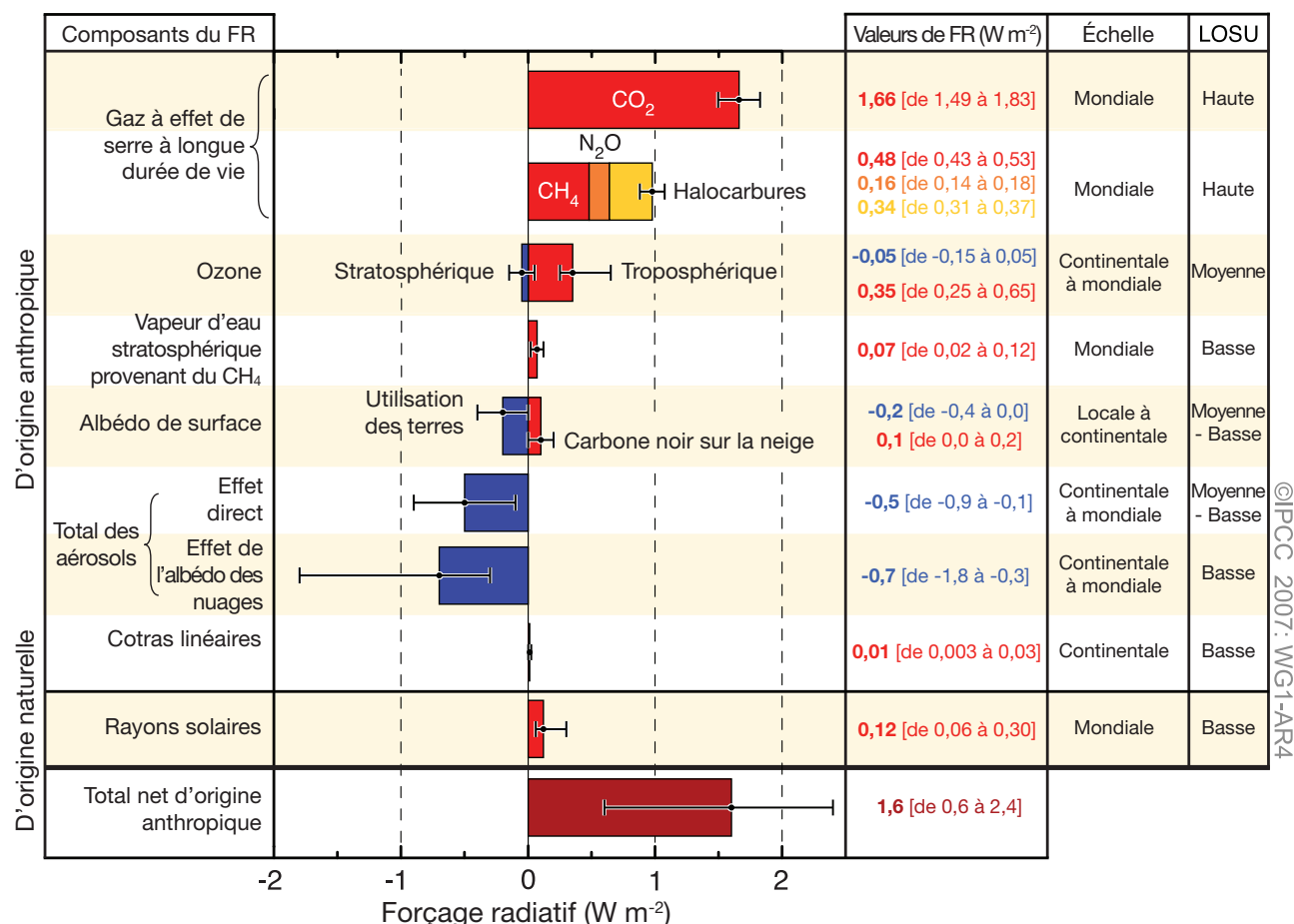
<sup>7</sup> Dans le Résumé à l'intention des décideurs, les termes suivants, correspondant à des degrés de confiance, ont été utilisés pour exprimer l'opinion des experts quant à l'exactitude de la science sous-jacente: *très haute confiance* signifie qu'il y a au moins 9 chances sur 10 pour que l'affirmation soit correcte ; *haute confiance* signifie qu'il y a environ 8 chances sur 10 pour que l'affirmation soit correcte (pour les détails, voir encadré RT.1).

- Le forçage radiatif résultant de l'accroissement du dioxyde de carbone, du méthane et de l'oxyde nitreux représente  $+2,30$  [ $+2,07$  à  $+2,53$ ]  $\text{Wm}^{-2}$ , et son taux d'accroissement au cours de l'époque industrielle a *très probablement* été sans précédent depuis plus de 10 000 ans (voir figures RID.1 et RID.2). Le forçage radiatif du dioxyde de carbone a augmenté de 20% entre 1995 et 2005, le plus grand changement au cours d'une décennie depuis plus de 200 ans au moins. {2.3, 6.4}
- Les contributions anthropiques aux aérosols (essentiellement les sulfates, le carbone organique, la suie, les nitrates et les poussières) produisent ensemble un effet de refroidissement, avec un forçage radiatif direct total de  $-0,5$  [ $-0,9$  à  $-0,1$ ]  $\text{Wm}^{-2}$ , et un forçage indirect par l'albédo des nuages de  $-0,7$  [ $-1,8$  à  $-0,3$ ]

$\text{Wm}^{-2}$ . Ces forçages sont maintenant mieux compris qu'au moment du TRE grâce à l'amélioration des mesures *in situ*, satellitaires et au sol, ainsi qu'à une modélisation plus complète, mais restent l'incertitude dominante dans le forçage radiatif net. Les aérosols exercent également une influence sur la durée de vie des nuages et les précipitations. {2.4, 2.9, 7.5}

- Des contributions anthropiques significatives au forçage radiatif viennent de plusieurs autres sources. Les changements de l'ozone troposphérique dus à l'émission de produits chimiques précurseurs de la formation d'ozone (oxydes nitreux, monoxyde de carbone et hydrocarbures) apportent  $+0,35$  [ $+0,25$  à  $+0,65$ ]  $\text{Wm}^{-2}$ . L'effet direct dû aux changements des halocarbures<sup>8</sup> est de  $+0,34$  [ $+0,31$  à  $+0,37$ ]  $\text{Wm}^{-2}$ . Les changements

### COMPOSANTS DU FORÇAGE RADIATIF



**Figure RID.2.** Estimations du forçage radiatif moyenné sur le globe (FR) et plages d'incertitudes pour le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>), l'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O) anthropiques, et les autres facteurs et mécanismes importants, avec l'extension géographique (à l'échelle spatiale) de leur forçage, ainsi que le niveau évalué de la compréhension scientifique (LOSU). Le forçage radiatif anthropique total ainsi que son étendue sont également représentés. Ceci demande une addition asymétrique des incertitudes pour les différents composants, et ne peut être obtenu par une simple addition. On considère que les facteurs additionnels de forçage, non inclus dans ce tableau, ont un LOSU très faible. Les aérosols volcaniques sont un facteur supplémentaire du forçage naturel, mais ne sont pas inclus dans cette figure en raison de leur nature sporadique. L'étendue pour les traînées de condensation ne tient pas compte des autres effets possibles de l'aviation sur la nébulosité. {2.9, Figure 2.20}

de l'albédo de surface provoqués par les changements du couvert végétal, ainsi que les dépôts d'aérosols de suie sur la neige exercent un forçage, respectivement, de  $-0,2$  [ $-0,4$  à  $0,0$ ] et  $+0,1$  [ $0,0$  à  $+0,2$ ]  $\text{Wm}^{-2}$ . Des termes supplémentaires inférieurs à  $\pm 0,1 \text{ Wm}^{-2}$  sont présentés sur la figure RID.2. {2.3, 2.5, 7.2}

- On estime que les changements du rayonnement solaire depuis 1750 ont provoqué un forçage radiatif de  $+0,12$  [ $+0,06$  à  $+0,30$ ]  $\text{Wm}^{-2}$ , soit moins de la moitié des estimations du TRE. {2.7}

## Observations directes des changements climatiques récents

*Depuis la publication du TRE, des progrès ont été réalisés dans la compréhension des changements climatiques à l'échelle spatiale et temporelle, grâce aux améliorations et à l'extension de nombreuses séries de données et des analyses de données, à une couverture géographique plus vaste, à une meilleure compréhension des incertitudes et à une plus grande variété de mesures. On dispose de plus en plus d'observations exhaustives des glaciers et de la couverture neigeuse depuis les années 1960 et du niveau des mers et des calottes glaciaires depuis une dizaine d'années. Cependant, la couverture en données demeure limitée dans certaines régions.*

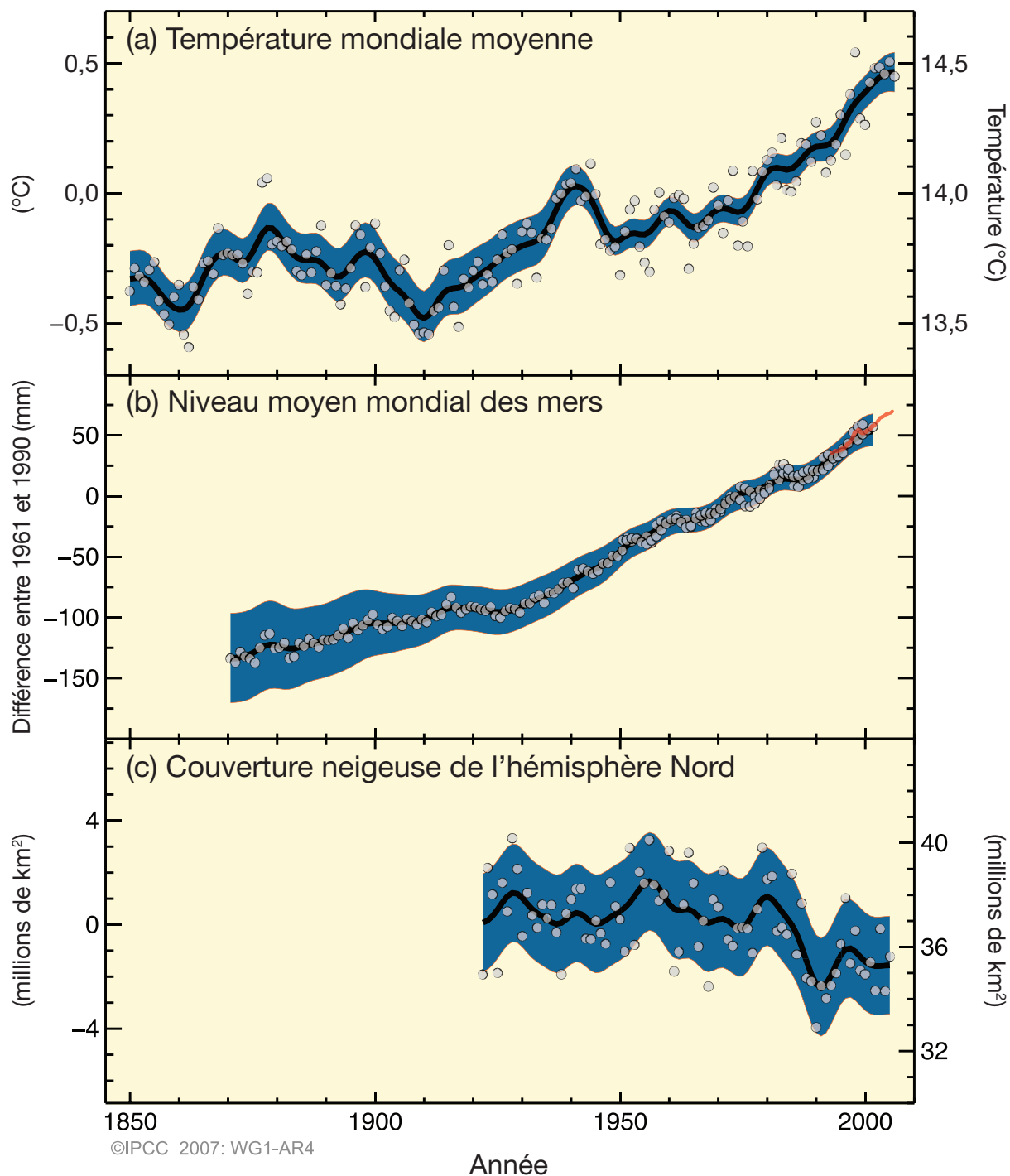
**Le réchauffement du système climatique est sans équivoque, car il ressort désormais des observations de l'augmentation des températures moyennes mondiales de l'atmosphère et de l'océan, de la fonte généralisée des neiges et des glaces, et de l'élévation du niveau moyen mondial de la mer (voir figure RID.3). {3.2, 4.2, 5.5}**

- Onze des douze dernières années (1995–2006) figurent au palmarès des douze années les plus chaudes depuis qu'on dispose d'enregistrements de la température de surface<sup>9</sup> (depuis 1850). La nouvelle valeur de la vitesse moyenne du réchauffement au cours des cent dernières années (1906–2005) de  $0,74^\circ\text{C}$  [ $0,56^\circ\text{C}$  à  $0,92^\circ\text{C}$ ] est donc plus grande que n'était la valeur analogue calculée au moment du troisième Rapport de  $0,6^\circ\text{C}$  [ $0,4^\circ\text{C}$  à  $0,8^\circ\text{C}$ ] pour la période 1901–2000. La vitesse moyenne du réchauffement au cours des 50 dernières années ( $0,13^\circ\text{C}$  [ $0,10^\circ\text{C}$  à  $0,16^\circ\text{C}$ ] par décennie) a pratiquement doublé par rapport à celle des cent dernières années. La hausse totale de température entre 1850–1899 et 2001–2005 représente  $0,76^\circ\text{C}$  [ $0,57^\circ\text{C}$  à  $0,95^\circ\text{C}$ ]. Les effets des îlots de chaleur urbains sont réels, mais localisés et ont une influence négligeable sur ces valeurs (moins de  $0,006^\circ\text{C}$  par décennie pour les terres émergées et zéro pour les océans). {3.2}
- De nouvelles analyses des mesures fournies par ballons et par satellites de la température de la basse et moyenne troposphère montrent des vitesses de réchauffement semblables aux mesures de température de surface et cohérentes avec leurs incertitudes respectives, réconciliant les désaccords indiqués dans le TRE. {3.2, 3.4}
- La teneur moyenne de l'atmosphère en vapeur d'eau a augmenté depuis au moins les années 1980 tant au-dessus des terres émergées et des océans, que dans la haute troposphère. L'accroissement est dans l'ensemble cohérent avec le supplément de vapeur d'eau qu'un air chaud peut contenir.
- Les observations effectuées depuis 1961 montrent que la température moyenne des océans du monde a augmenté jusqu'à des profondeurs d'au moins 3 000 mètres, et que les océans absorbent plus de 80% de la chaleur ajoutée au système climatique. Un tel réchauffement entraîne la dilatation de l'eau de mer, contribuant à la montée du niveau des mers (voir tableau RID.1). {5.2, 5.5}
- Les glaciers de montagne et la couverture neigeuse ont décliné en moyenne dans les deux hémisphères. La rétractation généralisée des glaciers et des calottes glaciaires a contribué à la montée du niveau des mers (les calottes glaciaires ne comprennent pas les contributions des nappes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique). (Voir tableau RID.1.) {4.6, 4.7, 4.8, 5.5}
- Depuis la publication du TRE, de nouvelles données indiquent désormais que les pertes des nappes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique ont *très probablement* contribué à l'élévation du niveau de la mer entre 1993 et 2003 (voir Tableau RID.1.). La vitesse de l'écoulement de certains glaciers du Groenland et de l'Antarctique, drainant la glace depuis l'intérieur des nappes glaciaires, a augmenté. La déglaciation proportionnellement

<sup>8</sup> Le forçage radiatif des halocarbures a été récemment évalué en détail dans le Rapport spécial de GIEC sur la sauvegarde de la couche d'ozone et le système climatique mondial (2005).

<sup>9</sup> La moyenne de la température de l'air près de la surface du sol et de la température de surface de la mer.

**CHANGEMENTS DE TEMPÉRATURE, DU NIVEAU DES MERS ET DE LA COUVERTURE NEIGEUSE DANS L'HÉMISPHERE NORD**



**Figure RID.3.** Changements observés sur (a) la température en surface moyennée sur le globe, (b) l'élévation moyenne mondiale du niveau de la mer obtenue à partir de données provenant de marégraphes (bleu) et de satellites (rouge), et (c) dans la couverture neigeuse de l'hémisphère Nord en mars-avril. Tous les changements se rapportent aux moyennes correspondantes pour la période 1961-1990. Les courbes lissées représentent des moyennes décennales, tandis que les cercles indiquent les valeurs annuelles. Les zones ombrées indiquent les intervalles d'incertitudes estimés à partir d'une analyse complète des incertitudes connues (a et b) et de la série temporelle (c) {FAQ 3.1, Figure 1, Figure 4.2, Figure 5.13}

croissante de la masse des nappes glaciaires a souvent été accompagnée par l'amincissement, la réduction ou la disparition des plates-formes de glace ou des langues de glacier flottantes. Une telle dynamique de déglaciation suffit à expliquer la plupart des pertes nettes de la masse glaciaire antarctique et près de la moitié de celles du Groenland. Le reste de la déglaciation au Groenland est dû au fait que la fonte a dépassé l'enneigement. {4.6, 4.8, 5.5}

- Le niveau mondial moyen de la mer s'est élevé à une vitesse moyenne de 1,8 [1,3–2,3] mm par an entre 1961 et 2003. Cette vitesse a été supérieure entre 1993 et 2003, soit environ 3,1 [2,4–3,8] mm par an. On ne sait pas précisément si cette vitesse plus rapide pour 1993–2003 correspond à la variabilité décennale ou à un accroissement de la tendance à long terme. Il existe une *haute confiance* dans le fait que la vitesse de l'élévation observée du niveau de la mer a augmenté entre le XIXe siècle et le XXe siècle. L'élévation totale au XXe siècle est estimée à 0,17 [0,12–0,22] m. {5.5}
- Pour la période 1993–2003, la somme des contributions climatiques concorde, dans la limite des incertitudes, avec les observations directes de la montée globale du niveau des mers (voir Tableau RID.1). Ces estimations sont fondées sur les données améliorées désormais disponibles, recueillies par satellite et *in situ*. Pour la période 1961–2003, l'estimation de la somme des contributions climatiques est inférieure à l'augmentation observée du niveau de la mer. Le TRE avait noté un désaccord analogue pour 1910–1990. {5.5}

**A l'échelle des continents, des régions et des bassins océaniques, de nombreux changements climatiques à long terme ont été observés. Ils incluent des changements des températures et des glaces arctiques, des changements largement répandus dans les volumes de précipitations, la salinité de l'océan, les structures des vents et des aspects de phénomènes climatiques extrêmes, tels que les sécheresses, les fortes précipitations, les vagues de chaleur et l'intensité des cyclones tropicaux.<sup>10</sup> {3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 5.2}**

- Les températures moyennes arctiques ont crû près de deux fois plus vite que la moyenne mondiale au cours des cent dernières années. Les températures arctiques présentent une grande variabilité décennale et une période chaude a été observée de 1925 à 1945. {3.2}.
- Depuis 1978 les données satellitaires montrent que l'étendue annuelle moyenne des glaces arctiques a rétréci de 2,7 [2,1 à 3,3]% par décennie, avec une décroissance plus forte en été de l'ordre de 7,4 [5,0 à 9,8]% par décennie. Ces valeurs sont cohérentes avec celles qui sont indiquées dans le TRE. {4.4}
- Les températures au sommet de la couche de pergélisol ont, dans l'ensemble, augmenté depuis les années 1980 en Arctique (jusqu'à 3°C). La surface maximale de l'étendue des terres saisonnièrement glacées a diminué d'environ 7% dans l'hémisphère Nord depuis 1900, avec une diminution vernale allant jusqu'à 15%. {4.7}

**Tableau RID.1.** Vitesse observée d'élévation du niveau de la mer et estimation des contributions des différents facteurs. {5.5, tableau 5.3}

Facteur d'élévation du niveau du niveau de la mer	Vitesse d'élévation du niveau de la mer (mm/an)	
	1961–2003	1993–2003
Dilatation thermique	0,42 ± 0,12	1,6 ± 0,5
Glaciers et calottes glaciaires	0,50 ± 0,18	0,77 ± 0,22
Inlandsis groenlandais	0,05 ± 0,12	0,21 ± 0,07
Inlandsis antarctique	0,14 ± 0,41	0,21 ± 0,35
Somme des diverses contributions liées au climat	1,1 ± 0,5	2,8 ± 0,7
Élévation totale observée du niveau de la mer	1,8 ± 0,5 <sup>a</sup>	3,1 ± 0,7 <sup>a</sup>
Différence (Niveau observé, moins la somme des contributions climatiques estimées)	0,7 ± 0,7	0,3 ± 1,0

Note :

<sup>a</sup> Les données antérieures à 1993 proviennent de marégraphes, les données postérieures à 1993 d'altimétrie satellitaire.

<sup>10</sup> Les ouragans et les typhons font partie des cyclones tropicaux.

- Des tendances à long terme entre 1900 et 2005 ont été observées dans le volume des précipitations sur beaucoup de grandes régions.<sup>11</sup> Des précipitations plus violentes ont été observées à l'est de l'Amérique du Nord et de l'Amérique du Sud, au nord de l'Europe et en Asie du Nord et centrale. Un assèchement a été observé au Sahel, dans le pourtour méditerranéen, au Sud de l'Afrique et dans certaines parties du Sud de l'Asie. Les précipitations ont un caractère extrêmement variable dans l'espace et le temps, et les données sont limitées dans certaines régions. Les tendances à long terme n'ont pas été observées dans les autres grandes régions étudiées.<sup>11</sup> {3.3, 3.9}
- Les changements des précipitations et de l'évaporation sur les océans sont suggérés par l'adoucissement des eaux de moyenne et haute latitudes, ainsi que par la salinité accrue des eaux de basse latitude. {5.2}
- Les vents d'ouest de moyenne latitude se sont renforcés dans les deux hémisphères depuis les années 1960. {3.5}
- Depuis les années 1970, des sécheresses plus sévères et plus longues ont été observées sur de larges étendues, en particulier dans les régions tropicales et subtropicales. Un assèchement accru dû à des températures plus élevées et des précipitations plus faibles a contribué aux modifications des

**Tableau RID.2.** Tendances récentes, évaluation de l'influence humaine sur ces tendances, et projections pour les événements météorologiques extrêmes pour lesquels il existe une tendance observée à la fin du XX<sup>e</sup> siècle. [tableaux 3.7, 3.8, 9.4, sections 3.8, 5.5, 9.7, 11.2-11.9]

Phénomènes <sup>a</sup> et orientation des tendances	Probabilité de l'existence de cette tendance à la fin du XX <sup>e</sup> siècle (surtout après 1960)	Probabilité de la contribution humaine à la tendance observée <sup>b</sup>	Probabilité des tendances futures basées sur des scénarios de projections RSSE pour le XXI <sup>e</sup> siècle
Plus de journées et de nuits chaudes et moins de froides dans la plupart des terres	<i>Très probable<sup>c</sup></i>	<i>Probable<sup>d</sup></i>	<i>Pratiquement certain<sup>d</sup></i>
Plus de journées et de nuits chaudes dans la plupart des terres	<i>Très probable<sup>e</sup></i>	<i>Probable (nuits)<sup>d</sup></i>	<i>Pratiquement certain<sup>d</sup></i>
Vagues de chaleur. Fréquence accrue dans la plupart des terres	<i>Probable</i>	<i>Plutôt probable<sup>f</sup></i>	<i>Très probable</i>
Fortes précipitations. Fréquence (ou proportion de fortes pluies par rapport au total des précipitations) accrue dans la plupart des régions	<i>Probable</i>	<i>Plutôt probable<sup>f</sup></i>	<i>Très probable</i>
Régions affectées par l'extension de la sécheresse	<i>Probable dans maintes régions depuis les années 1970</i>	<i>Plutôt probable</i>	<i>Probable</i>
Forte augmentation de l'activité cyclonique tropicale	<i>Probable dans quelques régions les années 1970</i>	<i>Plutôt probable<sup>f</sup></i>	<i>Probable</i>
Augmentation des périodes de niveau de mer extrêmement élevé (hors tsunamis) <sup>g</sup>	<i>Probable</i>	<i>Plutôt probable<sup>f,h</sup></i>	<i>Probable<sup>i</sup></i>

Notes se rapportant au tableau :

<sup>a</sup> Pour des définitions détaillées, se référer au tableau 3.7.

<sup>b</sup> Voir tableau RS.4, Encadré RS.5 et tableau 9.4.

<sup>c</sup> Fréquence décroissante des journées et des nuits froides (les 10% les plus froids).

<sup>d</sup> Réchauffement des jours et nuits les plus extrêmes par an.

<sup>e</sup> Fréquence croissante des journées et nuits chaudes (les 10% les plus chauds).

<sup>f</sup> Ampleur de l'influence anthropique non évaluée. Attribution de ces phénomènes basée sur les avis des experts, plutôt que sur des études formelles.

<sup>g</sup> Le niveau extrême des mers dépend du niveau des mers moyen et de l'écosystème régional. Il est défini ici à sa plus forte valeur de 1% des valeurs du niveau de la mer relevées toutes les heures par une station donnée pendant une période de référence.

<sup>h</sup> Les changements des maxima du niveau de la mer suivent de près ceux du niveau moyen de la mer. {5.5} Il est *très probable* que l'activité anthropique ait contribué à l'élévation du niveau moyen de la mer. {9.5}

<sup>i</sup> Dans tous les scénarios le niveau de la mer global moyen projeté pour 2100 est supérieur à celui de la période de référence {10.6} L'effet des changements des systèmes climatiques régionaux sur les niveaux extrêmes de la mer n'a pas été évalué.

<sup>11</sup> Les régions évaluées sont celles qui sont examinées dans le chapitre des projections régionales du TRE, ainsi que dans le chapitre 11 du présent Rapport.



sécheresses. Les modifications des températures de surface des mers, des structures des vents, et la décroissance du pack neigeux et de la couverture neigeuse ont également été associés aux sécheresses. {3.3}

- La fréquence des fortes précipitations a augmenté dans la plupart des zones terrestres, en cohérence avec le réchauffement et les accroissements observés de la vapeur d'eau atmosphérique. {3.8, 3.9}
- Des changements largement répandus des températures extrêmes ont été observés au cours des 50 dernières années. Les journées froides, les nuits froides et le gel sont devenus moins fréquents, tandis que les journées chaudes, les nuits chaudes et les vagues de chaleur sont devenues plus fréquentes (voir tableau RID.2). {3.8}
- Les observations mettent en évidence une augmentation de l'activité des cyclones tropicaux intenses dans l'Atlantique Nord depuis 1970 environ, corrélée avec des augmentations de températures de surface de la mer sous les tropiques. Les observations suggèrent également l'accroissement d'une intense activité cyclonique tropicale dans d'autres régions où la qualité des données suscite des inquiétudes plus importantes. La variabilité multi-décennale et la qualité des données sur les cyclones tropicaux avant les observations satellitaires régulières vers 1970 compliquent la détection des tendances à long terme de l'activité des cyclones tropicaux. Il n'existe pas de tendance claire quant au nombre annuel de cyclones tropicaux. {3.8}

**Les observations ne mettent pas en évidence de changements pour certains aspects du climat. {3.2, 3.8, 4.4, 5.3}**

- Une décroissance dans l'amplitude du cycle journalier de la température (DTR) a été mentionnée dans le TRE, mais les données disponibles alors ne portaient que sur la période de 1950–1993. Les observations à ce jour révèlent que cette amplitude n'a pas changé de 1979 à 2004 du fait que les températures diurnes et nocturnes ont augmenté à peu près au même rythme. Les tendances sont hautement variables d'une région à l'autre. {3.2}
- L'étendue des glaces de mer de l'Antarctique continue de montrer une variabilité interannuelle et des changements localisés, mais aucune tendance moyenne statistiquement significative, en cohérence avec l'absence de réchauffement de la température atmosphérique moyenne sur l'ensemble de la région {3.2, 4.4}

- On ne dispose pas d'éléments suffisants pour déterminer s'il existe des tendances dans la circulation thermohaline océanique, ou dans des événements de courte durée, tels que les tornades, la grêle, la foudre et les tempêtes de poussière. {3.8, 5.3}

## Perspective paléoclimatique

*Les études paléoclimatiques utilisent les changements observés sur des indicateurs sensibles au climat pour déduire les changements climatiques passés dans le monde sur des échelles temporelles allant de la décennie au million d'années. Ces données indirectes (par exemple, la taille de cernes d'arbres) peuvent être influencées par la température locale et par d'autres facteurs, tels que les précipitations, et sont souvent représentatives de saisons particulières plutôt que d'une année entière. Des études menées depuis le TRE tirent une confiance accrue de l'utilisation de données additionnelles présentant un comportement cohérent sur de multiples indicateurs dans différentes parties du monde. Cependant, à mesure que l'on recule dans le temps, les incertitudes ont tendance à augmenter car la couverture spatiale est de plus en plus limitée.*

**Les informations paléoclimatiques confirment l'interprétation selon laquelle le réchauffement du demi-siècle passé est atypique par rapport aux 1 300 dernières années minimum. La dernière fois que les régions polaires ont été significativement plus chaudes qu'aujourd'hui (il y a environ 125 000 ans), la réduction du volume des glaces polaires a entraîné une élévation du niveau des mers de 4 à 6 mètres. {6.4, 6.6}**

- Les températures moyennes de l'hémisphère Nord pendant la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle étaient *très probablement* plus élevées que durant toute autre période de 50 ans au cours des 500 dernières années, et *probablement* les plus élevées des 1 300 dernières années au moins. Des études récentes signalent une plus grande variabilité des températures de l'hémisphère Nord que le suggère le TRE, et trouvent, en particulier, que des périodes plus froides ont existé du XII<sup>e</sup> au XIV<sup>e</sup> siècle, aux XVII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles. Les périodes chaudes avant le XX<sup>e</sup> siècle se trouvent dans la gamme d'incertitude indiquée dans le TRE. {6.6}
- Le niveau global moyen de la mer pendant la dernière période interglaciaire (il y a environ 125 000 ans) était *probablement* 4 à 6 m plus haut qu'au XX<sup>e</sup> siècle,

principalement en raison du recul des glaces polaires. Les carottes de glace indiquent que la température moyenne à ce moment là était 3 à 5 °C plus chaude qu'au XX<sup>e</sup> siècle à cause de différences dans l'orbite terrestre. La calotte du Groenland et d'autres plaques de glace arctiques n'ont *probablement* pas contribué de plus de 4 m à l'augmentation observée du niveau de la mer. Il pourrait aussi y avoir eu une contribution de l'Antarctique. {6.4}

## Comprendre le changement climatique et en attribuer les causes

La présente évaluation porte sur des séries de données plus longues et améliorées, une extension des observations et des améliorations dans la simulation de nombreux aspects du climat et de sa variabilité à partir d'études effectuées depuis la publication du TRE. Elle prend également en compte les résultats de nouvelles études d'attribution qui ont cherché à savoir si les changements observés étaient quantitativement en accord avec les réactions attendues aux forçages externes et en désaccord avec d'autres explications physiquement plausibles.

**L'essentiel de l'accroissement observé sur la température moyenne globale depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle est très probablement dû à l'augmentation observée des concentrations des gaz à effet de serre anthropiques.<sup>12</sup> Ceci représente un progrès par rapport à la conclusion du TRE qui indiquait que «l'essentiel du réchauffement observé au cours des 50 dernières années était probablement dû à l'accroissement de la concentration en gaz à effet de serre». L'influence humaine est maintenant perceptible dans d'autres aspects du climat, tels que le réchauffement des océans, les températures continentales moyennes, les températures extrêmes et la structure des vents (voir figure RID.4 et tableau RID.2). {9.4, 9.5}**

- Il est *probable* que l'accroissement des gaz à effet de serre seul aurait provoqué un réchauffement plus important que celui qui a été observé, puisque les aérosols d'origine volcanique et humaine ont amorti une partie du réchauffement qui se serait autrement produit. {2.9, 7.5, 9.4}

- Le réchauffement général observé de l'atmosphère et des océans, ainsi que la diminution de la masse de glace, étayent la conclusion selon laquelle il est *extrêmement improbable* que le changement climatique mondial des 50 dernières années puisse être expliqué sans forçages externes, et *très probable* qu'il ne soit pas uniquement dû à des causes naturelles connues. {4.8, 5.2, 9.4, 9.5, 9.7}
- Le réchauffement du système climatique a été décelé dans les changements des températures de surface et de l'atmosphère dans les couches supérieures de l'océan sur plusieurs centaines de mètres, et dans les contributions à l'élévation du niveau de la mer. Des études d'attribution ont posé des contributions anthropiques à tous ces changements. La structure observée du réchauffement de la troposphère et du refroidissement de la stratosphère est *très probablement* due aux actions combinées de l'augmentation des gaz à effet de serre et de la diminution de l'ozone stratosphérique. {3.2, 3.4, 9.4, 9.5}
- Il est *probable* qu'un réchauffement anthropique important se soit produit au cours des 50 dernières années sur tous les continents, à l'exception de l'Antarctique (voir figure RID.4). Les structures observées du réchauffement, y compris un réchauffement plus important sur les continents que sur les océans, et leurs variations dans le temps, ne sont simulés que par des modèles qui tiennent compte du forçage anthropique. La capacité des modèles climatiques couplés à simuler l'évolution observée des températures dans chacun des six continents permet d'obtenir des preuves plus sûres de l'influence humaine sur le climat que celles disponibles dans le troisième Rapport. {3.2, 9.4}
- Des difficultés subsistent pour la simulation et l'attribution des changements de température observés aux échelles plus fines. A ces échelles, la variabilité naturelle du climat devient relativement plus importante, ce qui rend plus difficile de mettre en évidence les changements anticipés dus aux forçages externes. Des incertitudes dans les forçages locaux et les rétroactions rendent également difficile une estimation de la contribution de l'augmentation des gaz à effet de serre aux changements de température observés à petite échelle. {8.3, 9.4}
- Le forçage anthropique a *probablement* contribué aux changements dans la structure des vents<sup>13</sup>, en

<sup>12</sup> La considération des incertitudes restantes se base sur les méthodologies actuellement disponibles.

<sup>13</sup> En particulier les Régimes annulaires Nord et Sud, ainsi que les changements associés de l'Oscillation Nord-Atlantique. {3.6, 9.5, Encadré RS.2}

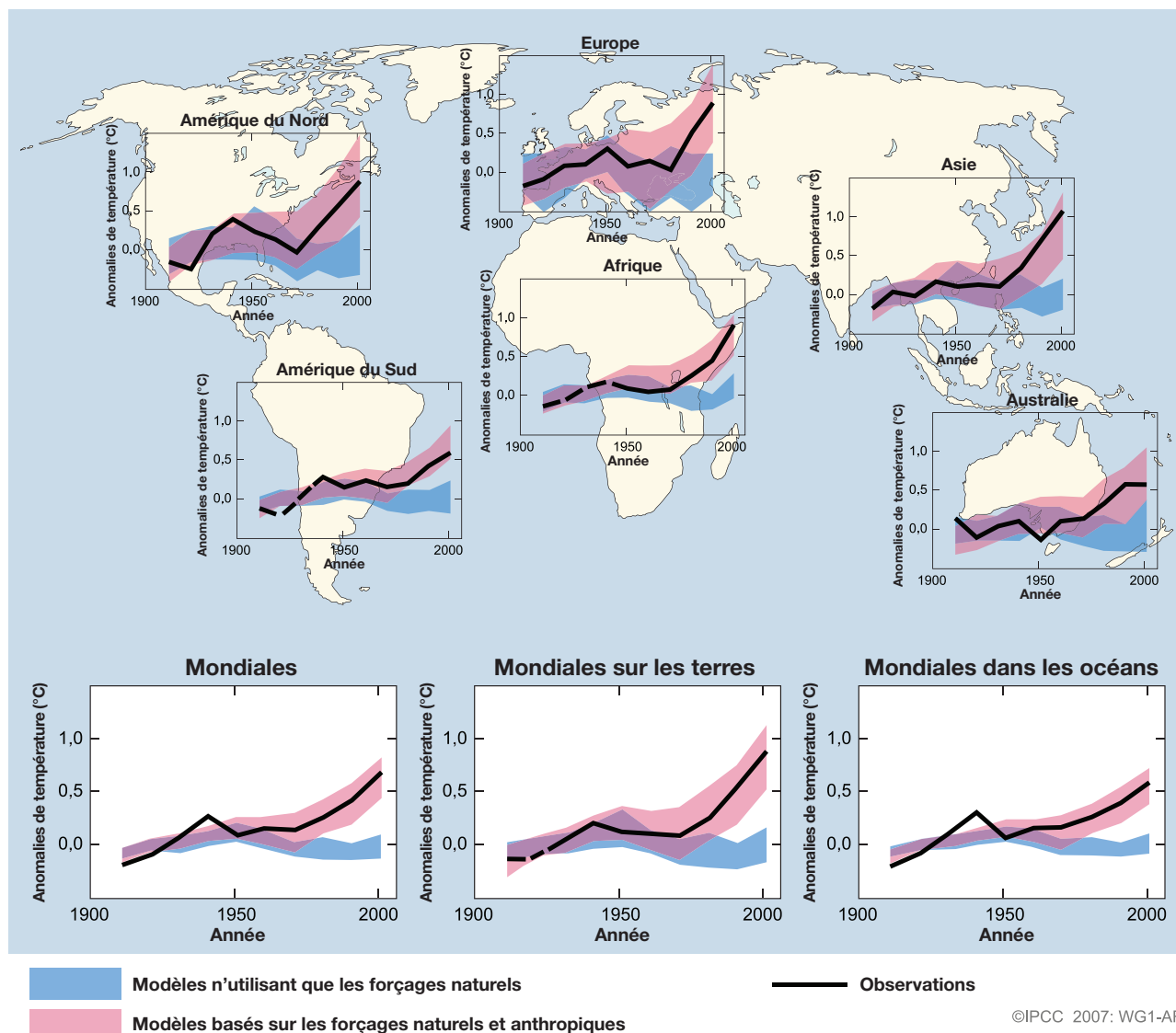
affectant la trajectoire des tempêtes extratropicales et la structure des températures dans les deux hémisphères. Cependant, les changements observés dans la circulation de l'hémisphère Nord sont plus importants que ceux simulés en réponse aux changements des forçages au XX<sup>e</sup> siècle. {3.5, 3.6, 9.5, 10.3}

- Les températures des nuits les plus chaudes, des nuits les plus froides et des journées les plus froides ont *probablement* augmenté en raison de forçages anthropiques. Le forçage anthropique a *plutôt*

*probablement* augmenté le risque de vagues de chaleur (voir tableau RID.2) {9.4}

**L'analyse des modèles climatiques, avec les contraintes des observations, permet pour la première fois de donner une fourchette probable de la sensibilité climatique et offre une confiance accrue dans la compréhension de la réaction du système climatique face au forçage radiatif. {6.6, 8.6, 9.6, et Encadré 10.2}**

### ÉVOLUTION DES TEMPÉRATURES AUX ÉCHELLES MONDIALE ET CONTINENTALE



**Figure RID.4.** Comparaison des changements observés sur la température de surface aux échelles globale et continentale, avec les résultats de simulations de modèles climatiques utilisant les forçages naturels et anthropiques. Les moyennes décennales des observations sont montrées pour la période 1906–2005 (ligne noire) représentée selon le centre de la décennie et relative à la moyenne correspondante sur la période 1901–1950. Les lignes en pointillés sont utilisées quand la couverture spatiale est inférieure à 50%. Les bandes bleues ombrées représentent l'intervalle de 5–95% pour 19 simulations de cinq modèles climatiques qui n'utilisaient que les forçages naturels dus à l'activité solaire et aux volcans. Les bandes rouges ombrées représentent l'intervalle de 5–95% pour 58 simulations provenant de 14 modèles climatiques utilisant des forçages à la fois naturels et anthropiques. {FAQ 9.2, Figure 1}

- La sensibilité climatique à l'équilibre est une mesure de la réponse du système climatique à un forçage radiatif constant. Ce n'est pas une projection mais elle est définie comme le réchauffement global moyen de surface à la suite d'un doublement des concentrations de dioxyde de carbone. Elle est *probablement* située dans la fourchette 2 à 4,5°C avec une valeur la plus probable de 3°C et il est *très improbable* qu'elle soit inférieure à 1,5°C. Des valeurs considérablement supérieures à 4,5°C ne sont pas à exclure, mais la correspondance des modèles et des observations n'est plus aussi bonne pour ces valeurs. Les changements de la vapeur d'eau constituent la plus importante des rétroactions affectant la sensibilité climatique et sont maintenant mieux compris que lors du TRE. La principale source d'incertitudes provient de la rétroaction liée aux nuages. {8.6, 9.6, Encadré 10.2}
- Il est *très improbable* que les changements climatiques d'au moins les sept siècles précédant 1950 soient imputables à la variabilité du seul système climatique. Une fraction importante de la variabilité de la température inter-décennale de l'hémisphère Nord reconstruite pour cette période est *très probablement* imputable aux éruptions volcaniques et aux changements du rayonnement solaire, et il est *probable* que le forçage anthropique a contribué au réchauffement du début du XX<sup>e</sup> siècle, tel que mis en évidence dans ces données. {2.7, 2.8, 6.6, 9.3}

## Projections des changements climatiques futurs

Un progrès majeur de la présente évaluation des projections du changement climatique par rapport au TRE est le grand nombre de simulations fournies par un ensemble plus large de modèles. Prises ensemble, et compte tenu des informations additionnelles fournies par les observations, ces simulations fournissent une base quantitative permettant d'estimer la vraisemblance de maints aspects du changement climatique futur. Les simulations des modèles couvrent une série de futurs envisageables, y compris des hypothèses idéalisées sur les émissions ou les concentrations. Celles-ci comprennent des scénarios de référence du RSSE<sup>14</sup> pour la période 2000–2100, ainsi que des expériences modélisées dans lesquelles les concentrations de gaz à effet de serre et des aérosols resteraient constantes après l'an 2000 ou 2100.

**Pour les deux décennies à venir, un réchauffement d'environ 0,2°C par décennie est simulé pour une série de scénarios d'émissions du RSSE. Même dans l'éventualité où les concentrations de tous les gaz à effet de serre et des aérosols restaient constantes par rapport au niveau de l'année 2000, on doit s'attendre à un réchauffement d'environ 0,1°C par décennie. {10.3, 10.7}**

- Depuis la publication du premier Rapport du GIEC en 1990, les projections estimées ont suggéré une hausse des températures mondiales moyennes d'environ 0,15°C à 0,3°C par décennie pour les années 1990–2005. On peut désormais comparer ces projections aux valeurs observées, qui sont de l'ordre de 0,2°C par décennie : la fiabilité des projections à court terme en est donc renforcée. {1.2, 3.2}
- Des simulations montrent que, même si tous les facteurs de forçage radiatif étaient maintenus constants au niveau de l'an 2000, un réchauffement induit se produirait au cours des deux décennies suivantes à un rythme d'environ 0,1°C par décennie, en raison essentiellement de la réponse lente des océans. Un réchauffement environ deux fois plus important (0,2°C par décennie) se produirait si les émissions étaient dans la gamme des scénarios du RSSE. Les simulations des valeurs les plus probables par les modèles indiquent que vers 2030 le réchauffement global moyen par décennie sur chaque continent habité ne dépendra pas du choix opéré parmi les scénarios du RSSE et qu'il sera *très probablement* au moins le double de la variabilité naturelle correspondante telle qu'estimée pour le XX<sup>e</sup> siècle par les modèles. {9.4, 10.3, 10.5, 11.2–11.7, figure RT.29}

**La poursuite des émissions de gaz à effet de serre au rythme actuel ou à un rythme supérieur provoquerait un réchauffement supplémentaire et entraînerait de nombreuses modifications du système climatique mondial au cours du XXI<sup>e</sup> siècle qui seraient *très probablement* plus importantes que celles observées au cours du XX<sup>e</sup> siècle. {10.3}**

- Les progrès réalisés dans la modélisation du changement climatique permettent maintenant d'obtenir les meilleures estimations et des fourchettes

<sup>14</sup> Le RSSE est le Rapport spécial du GIEC sur les scénarios d'émissions (2000). Les cas de famille et d'illustration du RSSE, qui n'incluent pas d'initiatives climatiques additionnelles, sont résumés dans l'encadré à la fin du présent Résumé à l'intention des décideurs. Les concentrations approximatives équivalentes de dioxyde de carbone qui correspondent au forçage radiatif calculé dû aux gaz à effet de serre et aérosols d'origine anthropique en 2100 (voir p. 823 du TRE), tirées des scénarios d'illustration du RSSE B1, A1 T, B2, A1 B, A2 et A1FI, représentent, respectivement, 600, 700, 800, 850, 1250 et 1 559 ppm. Les scénarios B1, A1B et A2 ont été au centre des études sur l'intercomparabilité des modèles dont certains résultats sont évalués dans le présent Rapport.

d'incertitude *probable* pour le réchauffement projeté dans divers scénarios d'émissions. Les résultats des divers scénarios d'émissions sont indiqués dans le présent rapport de manière explicite afin que cette information politiquement pertinente ne soit perdue. Les réchauffements de surface en moyenne mondiale pour la fin du XXI<sup>e</sup> siècle (2090–2099) par rapport à 1980–1999 sont donnés dans le tableau RDI.3. Ces données illustrent les différences existant entre les scénarios d'émissions les plus bas et les plus hauts du RSSE, ainsi que l'incertitude sur les réchauffements simulés associés à ces scénarios. {10.5}

- Les meilleures estimations et les fourchettes *probables* pour le réchauffement global moyen de l'air en surface pour les six scénarios d'émissions du RSSE sont fournies dans la présente évaluation et figurent au tableau RDI.3. Par exemple, la meilleure estimation dans le cas du scénario le plus bas (B1) est 1,8°C (dans une fourchette *probable* de 1,1°C à 2,9°C), tandis que la meilleure estimation pour le scénario le plus élevé (A1FI) est de 4,0°C (dans une fourchette *probable* de 2,4°C à 6,4°C). Bien que ces projections soient dans l'ensemble cohérentes avec la fourchette indiquée dans le TRE (1,4°C-5,8°C), elles ne sont pas directement comparables (voir figure RID.5). Le quatrième Rapport d'évaluation est plus avancé car il propose les meilleures estimations statistiques et estime des intervalles de confiance pour les scénarios de référence. La nouvelle évaluation des fourchettes

*probables* repose maintenant sur un plus grand nombre de modèles climatiques d'une complexité et d'un réalisme accrus, ainsi que sur de nouvelles informations relatives à la nature des rétroactions liées au cycle du carbone et aux limitations des réponses du climat, telles qu'elles ont été observées. {10.5}

- Le réchauffement tend à diminuer la séquestration du dioxyde de carbone atmosphérique par les terres et les océans, augmentant de ce fait une partie des émissions anthropiques restant dans l'atmosphère. Dans le cas du scénario A2, par exemple, la boucle de réaction entre le climat et le cycle du carbone accroît le réchauffement mondial moyen correspondant en 2100 de plus de 1°C. Les limites supérieures des températures simulées sont plus importantes que celles du TRE (voir tableau RID.3), principalement parce qu'un nombre accru de modèles aujourd'hui disponibles suggère une boucle de réaction plus forte entre le climat et le cycle du carbone. {7.3, 10.5}
- Le tableau RID.3 présente les simulations de l'élévation mondiale moyenne du niveau de la mer à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle (2090–2099). Pour chaque scénario du tableau RID.3, le point médian de la fourchette indiquée dans le tableau se situe à moins de 10% des résultats des modèles moyens du TRE pour 2090–2099. Les fourchettes sont plus étroites que dans le TRE principalement grâce à l'amélioration des informations concernant quelques incertitudes dans des contributions simulées<sup>15</sup>.

**Tableau RID.3.** Projections du réchauffement global moyen en surface et de l'élévation du niveau de la mer à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle. {10.5, 10.6, tableau 10.7}

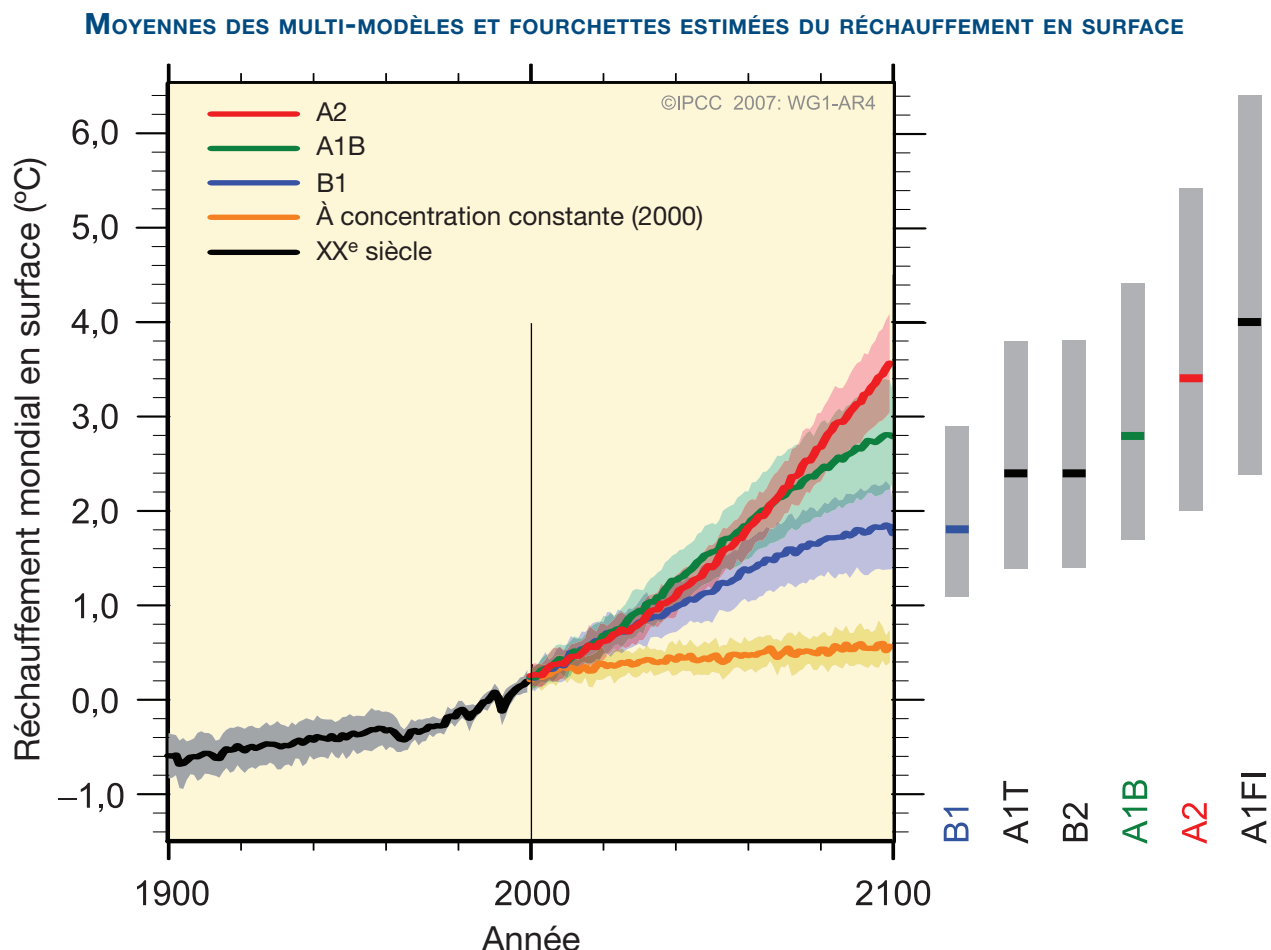
Cas	Changements de température (°C en 2090-2099 par rapport à 1980–1999) <sup>a</sup>		Elévation du niveau de la mer (m en 2090-2099 par rapport à 1980–1999)
	Meilleure estimation	Fourchette probable	Fourchette couverte par les modèles, ne tenant pas compte de futurs changements dynamiques rapides au niveau de l'écoulement des glaces
Concentration constante pour l'année 2000 <sup>b</sup>	0,6	0,3 – 0,9	NA
Scénario B1	1,8	1,1 – 2,9	0,18 – 0,38
Scénario A1T	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,45
Scénario B2	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,43
Scénario A1B	2,8	1,7 – 4,4	0,21 – 0,48
Scénario A2	3,4	2,0 – 5,4	0,23 – 0,51
Scénario A1FI	4,0	2,4 – 6,4	0,26 – 0,59

Notes se rapportant au Tableau :

<sup>a</sup> Ces estimations sont évaluées à partir d'une hiérarchie de modèles qui comprennent un seul modèle climatique simple, quelques modèles de systèmes terrestres de complexité intermédiaire et de nombreux modèles de la circulation générale du couplé atmosphère/océan (MCGAO).

<sup>b</sup> La composition constante pour l'an 2000 dérive uniquement des MCGAO.

<sup>15</sup> Les simulations du TRE étaient établies pour 2100, tandis que celles du présent rapport portent sur 2090–2099. Les fourchettes du TRE auraient été les mêmes que celles du Tableau RDI.3 si les incertitudes avaient été traitées de la même manière.



**Figure RID.5.** Les lignes en traits pleins correspondent à des moyennes globales multi-modèles du réchauffement en surface (relatif à 1980-1999) pour les scénarios A2, A1B et B1, indiqués comme le prolongement des simulations du XX<sup>e</sup> siècle. Les zones ombrées matérialisent les écarts types de  $\pm 1$  des moyennes annuelles pour les différents modèles. La ligne orange représente l'expérience au cours de laquelle les concentrations ont été maintenues constantes par rapport aux valeurs de 2000. Les barres grises sur la droite représentent les meilleures estimations (ligne solide à l'intérieur de chaque barre) et l'étendue **probable** évaluée pour les six scénarios du RSSE. L'évaluation de la meilleure estimation et des fourchettes **probables** dans les barres grises inclut les nombres d'AOGCM figurant à gauche de la figure, ainsi que les résultats obtenus d'une hiérarchie de modèles indépendants et de contraintes d'observation. {Figures 10.4 et 10.29}

- Jusqu'à présent, en raison de lacunes dans les publications existantes, les modèles ne tenaient compte ni des incertitudes ayant trait aux rétroactions entre le climat et le cycle du carbone, ni de la totalité des effets des changements sur l'écoulement des nappes de glace. Les simulations prennent en compte une contribution liée à une augmentation de l'écoulement de la glace du Groenland et de l'Antarctique aux débits observés sur 1993-2003, mais ces débits d'écoulement pourraient augmenter ou diminuer à l'avenir. Par exemple, si cette contribution progressait de façon linéaire parallèlement au changement de la température moyenne mondiale, les valeurs maximales de l'élévation du niveau de la mer pour les scénarios du RSSE figurant dans le tableau RDI.3

augmenteraient de 0,1m à 0,2m. On ne saurait exclure des valeurs plus élevées, mais la compréhension de ces effets est trop limitée pour évaluer leur vraisemblance ou fournir une meilleure estimation ou un seuil maximum pour l'élévation du niveau de la mer. {10.6}

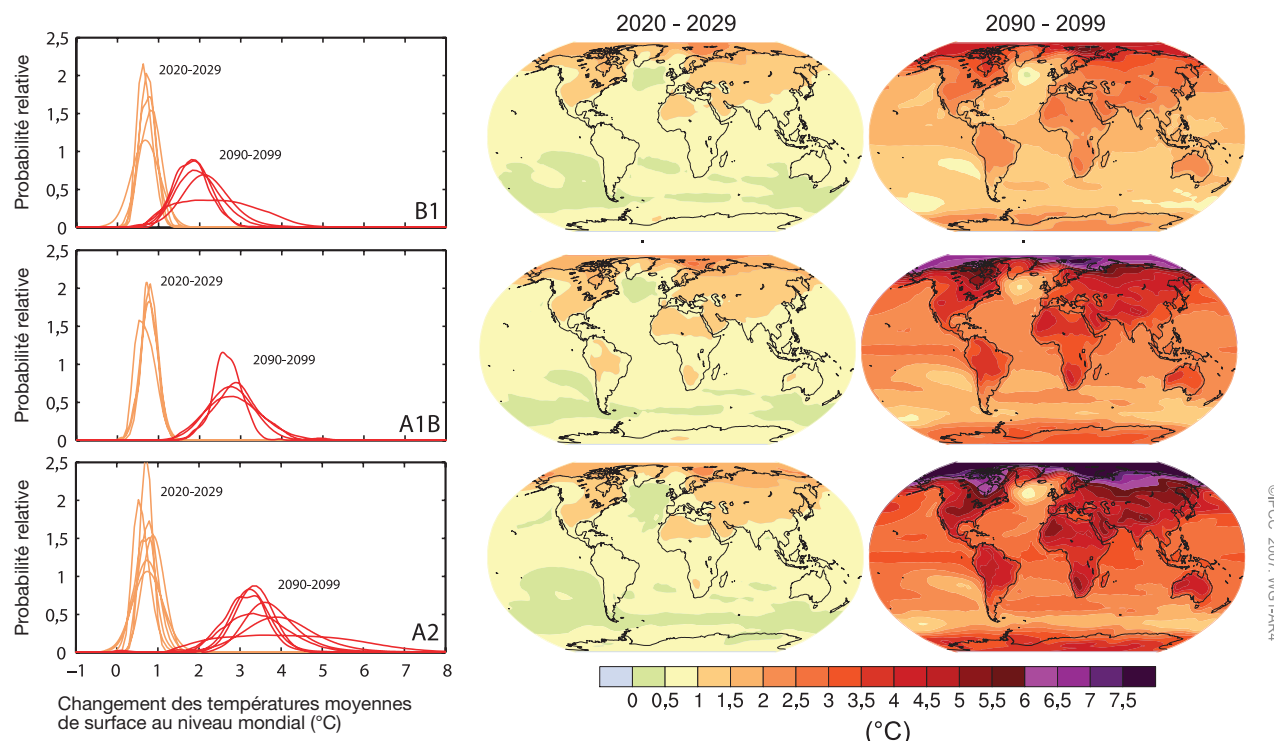
- L'augmentation des concentrations de dioxyde de carbone dans l'atmosphère provoque une augmentation de l'acidité de l'océan. Les simulations basées sur des scénarios du RSSE donnent des réductions du pH<sup>16</sup> moyen global de l'océan en surface entre 0,14 à 0,35 unités au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, ajoutant ainsi 0,1 unité à la diminution actuelle depuis l'époque préindustrielle. {5.4, Encadré 7.3, 10.4}

<sup>16</sup> Dans une solution, une diminution du pH correspond à une augmentation de l'acidité (voir le glossaire pour plus d'informations).

**Nous pouvons maintenant accorder davantage de confiance aux répartitions projetées du réchauffement et autres caractéristiques d'échelle régionale, y compris aux modifications dans la répartition des vents, des précipitations et d'autres aspects de phénomènes extrêmes et des glaces. {8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 9.4, 9.5, 10.3, 11.1}**

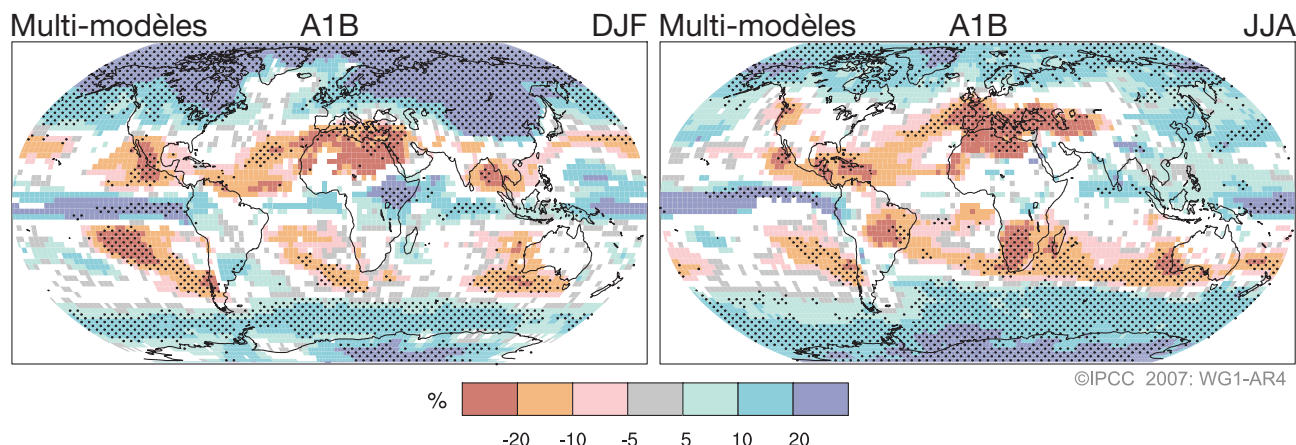
- Le réchauffement projeté pour le XXI<sup>e</sup> siècle fait apparaître des caractéristiques géographiques indépendantes du scénario utilisé, semblables à ce qui a été observé au cours des dernières décennies. Le réchauffement le plus important est attendu sur les terres émergées et aux latitudes élevées, et le moins important devrait apparaître dans le sud de l'océan indien et dans certaines parties de l'Atlantique nord (voir figure RID.6). {10.3}
- Les simulations produisent une contraction de la couverture neigeuse. Des augmentations étendues de la profondeur de la couche de fonte sont également projetées sur la plupart des régions de pergélisol. {10.3, 10.6}
- Les simulations produisent une diminution de la banquise dans l'Arctique comme dans l'Antarctique pour tous les scénarios RSSE. Dans certaines simulations, la glace arctique de la fin de l'été disparaît presque entièrement vers la fin du XXI<sup>e</sup> siècle. {10.3}
- Il est *très probable* que les canicules, les vagues de chaleur et les événements de fortes précipitations continueront à devenir plus fréquents. {10.3}
- En se fondant sur un ensemble de modèles, il est *probable* que les futurs cyclones tropicaux (typhons et ouragans) deviendront plus intenses, avec des vents maximum plus forts et des précipitations plus fortes, liées à l'accroissement en cours de la température à la surface des mers tropicales. En revanche, les projections indiquant une diminution globale du nombre de cyclones tropicaux sont moins crédibles.

### PROJECTIONS DES TEMPÉRATURES DE SURFACE



**Figure RID.6.** Modifications des températures de surface simulées pour le début et la fin du XXI<sup>e</sup> siècle par rapport à la période 1980–1999. Les planches situées au centre et à droite représentent les moyennes des simulations faites à l'aide de modèles de circulation générale océan-atmosphère couplés (AOGCM) pour les scénarios RSSE B1 (au-dessus), A1B (au centre) et A2 (en bas), moyennés sur les décennies 2020–2029 (centre) et 2090–2099 (droite). Les panneaux de gauche montrent les incertitudes correspondantes sous forme de probabilités relatives pour l'estimation de la moyenne mondiale du réchauffement pour différents AOGCM et études de modèles de systèmes terrestres de complexité intermédiaire pour les mêmes périodes. Certaines études ne fournissent des résultats que pour un sous-ensemble des scénarios du RSSE ou pour d'autres versions de modèles. Par conséquent les différences sur le nombre de courbes, montrées sur les planches de gauche, sont uniquement dues aux différences dans la disponibilité des résultats. {Figures 10.8 et 10.28}

## SIMULATION DE LA RÉPARTITION DES MODIFICATIONS DES PRÉCIPITATIONS



**Figure RID.7.** Changements relatifs des précipitations (en pourcentages) pour la période 2090-2099 par rapport à 1980-1999. Les valeurs sont issues de moyennes sur de nombreux modèles basés sur le scénario A1B du RSSE pour les mois de décembre à février (à gauche) et de juin à août (à droite). Les aires blanches représentent les zones où moins de 66% des modèles concordent sur le signe du changement, les zones hachurées correspondent aux cas où plus de 90% des modèles concordent sur le signe du changement. {Figure 10.9}

L'augmentation apparente du nombre de tempêtes tropicales depuis 1970 dans certaines régions est beaucoup plus importante que ce que produisent les modèles actuels pour cette période. {9.5, 10.3, 3.8}

- On prévoit que les trajectoires des tempêtes non tropicales se déplaceront vers les pôles, avec des changements en conséquence sur les répartitions des vents, des précipitations et des températures, dans la continuité des caractères des tendances observées lors du demi-siècle écoulé. {3.6, 10.3}
- La compréhension des répartitions attendues des précipitations a progressé depuis le TRE. Il est *très probable* que le volume des précipitations augmentera sous des latitudes élevées, alors qu'il diminuera *probablement* dans la plupart des régions émergées subtropicales (d'environ 20% en 2100 selon le scénario A1B, voir figure RDI.7), suivant les schémas des tendances récentes observées. {3.3, 8.3, 9.5, 10.3, 11.2 to 11.9}
- Selon des simulations récentes, il est *très probable* que la circulation thermohaline de l'océan Atlantique ralentira au cours du XXI<sup>e</sup> siècle. La valeur moyenne de cette réduction résultant de plusieurs modèles est de 25% (entre 0 et 50%) pour le scénario A1B du RSSE. Malgré ces changements, les simulations produisent une hausse des températures dans la région Atlantique, en

raison d'un réchauffement beaucoup plus important lié aux projections d'augmentations de gaz à effet de serre. Il est très improbable que la circulation thermohaline subisse une transition importante et subite au cours du XXI<sup>e</sup> siècle. On ne peut évaluer avec certitude les changements dans la circulation thermohaline à plus long terme. {10.3, 10.7}

**Le réchauffement et l'élévation du niveau de la mer dus à l'homme continueraient pendant des siècles en raison des échelles temporelles associées aux processus climatiques et aux rétroactions, même si les concentrations des gaz à effet de serre étaient stabilisées. {10.4, 10.5, 10.7}**

- On s'attend à ce que le couplage entre le climat et le cycle du carbone conduise à une augmentation du dioxyde de carbone dans l'atmosphère avec le réchauffement du système climatique, mais l'ampleur de cette rétroaction est incertaine. Ceci accroît les incertitudes sur la trajectoire des émissions de dioxyde de carbone requise pour garantir un niveau donné de stabilisation de la concentration du dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Sur la base de la compréhension actuelle des rétroactions entre le climat et le cycle du carbone, les modèles suggèrent que pour stabiliser la concentration de dioxyde de carbone à 450 ppm



il faudrait que le XXI<sup>e</sup> siècle réduise le total des émissions d'une moyenne d'environ 670 [630–710] GtC (2460 [2310–2600] GtCO<sub>2</sub>) à environ 490 [375–600] GtC (1800 [1370–2200] GtCO<sub>2</sub>). De même, une stabilisation à 1000 ppm pourrait demander, en raison de cette rétroaction, que les émissions cumulées soient réduites d'une moyenne entre modèles d'environ 1415 [1340–1490] GtC (5190 [4910–5460] GtCO<sub>2</sub>) à environ 1100 [980–1250] GtC (4030 [3590–4580] GtCO<sub>2</sub>). {7.3, 10.4}

- Si le forçage radiatif était stabilisé en 2100 aux niveaux correspondants aux scénarios B1 ou A1B, une augmentation supplémentaire de la température globale moyenne d'environ 0,5°C serait encore à attendre pour l'essentiel aux environs de 2200. {10.7}
- Si le forçage radiatif était stabilisé en 2100 au niveau de A1B<sup>14</sup>, la dilatation thermique seule produirait vers 2300 une élévation du niveau de la mer de 0,3 à 0,8 m (par rapport à 1980–1999). La dilatation thermique continuerait pendant de nombreux siècles en raison du temps nécessaire au transfert thermique vers les profondeurs de l'océan. {10.7}
- On prévoit que l'inlandsis groenlandais continuera à se rétracter, participant ainsi à l'élévation du niveau de la mer après 2100. Les modèles actuels suggèrent que la déglaciation massive due au réchauffement est plus rapide que l'accumulation de la glace formée par les précipitations, et que l'équilibre de la masse en surface devient négatif (par rapport aux valeurs de l'époque préindustrielle) avec un réchauffement global moyen en excès de 1,9°C à 4,6°C. Dans le cas où un bilan de masse en surface négatif était maintenu sur des millénaires, ceci conduirait à une disparition pratiquement complète de l'inlandsis groenlandais, avec pour conséquence une contribution d'environ 7 m à l'élévation du niveau de la mer. Les températures futures correspondantes au Groenland sont comparables à celles déduites pour la dernière période interglaciaire il y a 125 000 ans, où l'information paléoclimatique suggère des réductions de l'étendue de la glace polaire sur terre et une augmentation du niveau de la mer de 4 à 6 m. {6.4, 10.7}
- La dynamique des glaces, dont les modèles actuels ne tiennent pas compte mais qui est suggérée par des observations récentes, pourrait accroître la vulnérabilité des inlandsis au réchauffement, en ajoutant à l'élévation future du niveau de la mer. Ces mécanismes sont encore mal compris et aucun consensus n'existe quant à leur ampleur. {4.6, 10.7}
- Les études actuelles fondées sur des modèles globaux prévoient que l'inlandsis antarctique restera trop froid pour qu'une fonte généralisée se produise à sa surface, et que sa masse augmentera en raison de chutes de neige plus abondantes. Cependant, une perte nette de masse de glace pourrait se produire si la dynamique de la déglaciation l'emportait sur l'équilibre de l'inlandsis. {10.7}
- Les émissions de dioxyde de carbone d'origine anthropiques passées et futures continueront à contribuer au réchauffement et à l'élévation du niveau de la mer pendant plus d'un millénaire, en raison des échelles de temps nécessaires pour retirer ce gaz de l'atmosphère. {7.3, 10.3}

## LES SCÉNARIOS D'ÉMISSIONS DU RAPPORT SPÉCIAL DU GIEC SUR LES SCÉNARIOS D'ÉMISSIONS (RSSE)<sup>17</sup>

**A1.** Le canevas et la famille de scénarios A1 décrivent un monde futur dans lequel la croissance économique sera très rapide, la population mondiale atteindra un maximum au milieu du siècle pour décliner ensuite et de nouvelles technologies plus efficaces seront introduites rapidement. Les principaux thèmes sous-jacents sont la convergence entre 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 scénarios 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) et équilibre entre les sources (A1B) (« équilibre » signifiant que l'on ne s'appuie 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).

**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 régions convergent très lentement, avec pour résultat un accroissement continu de la population mondiale. 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 ensuite, 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 les ressources de manière efficiente. L'accent est placé 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 placé 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 A2, il y a des niveaux intermédiaires de développement économique et l'évolution technologique est moins rapide et plus diverse que dans les canevas et les familles de scénarios B1 et A1. Les scénarios sont également orientés vers la protection de l'environnement et l'équité sociale, mais ils sont axés sur des niveaux locaux et régionaux.

Un scénario d'illustration a été choisi pour chacun des six groupes de scénarios A1B, A1FI, A1T, A2, B1 et B2. Tous sont également fiables.

Les scénarios RSSE n'incluent pas d'initiatives climatiques supplémentaires, ce qui signifie que l'on n'inclut aucun scénario qui suppose expressément l'application de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques ou des objectifs du Protocole de Kyoto pour les émissions.

<sup>17</sup> Les scénarios d'émissions ne sont pas évalués dans le présent Rapport du Groupe de travail I du GIEC. Le résumé des scénarios du RSSE dans l'encadré est repris du TRE et a été approuvé ligne par ligne par le Groupe d'experts.