

**giec**

GRUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT

# CHANGEMENTS CLIMATIQUES 2013

*Les éléments scientifiques*

Résumé à l'intention des décideurs

GT I

CONTRIBUTION DU GROUPE DE TRAVAIL I  
AU CINQUIÈME RAPPORT D'ÉVALUATION  
DU GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL  
SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT



# Changements climatiques 2013

## Les éléments scientifiques

Contribution du Groupe de travail I  
au cinquième Rapport d'évaluation du  
Groupe d'experts intergouvernemental  
sur l'évolution du climat

## Résumé à l'intention des décideurs

Publié sous la direction de

**Thomas F. Stocker**

Coprésident du Groupe de travail I  
Université de Berne

**Dahe Qin**

Coprésident du Groupe de travail I  
Administration météorologique chinoise

**Gian-Kasper Plattner**

Directeur scientifique

**Melinda M.B. Tignor**

Directrice des opérations

**Simon K. Allen**

Responsable scientifique

**Judith Boschung**

Assistante administrative

**Alexander Nauels**

Assistant scientifique

**Yu Xia**

Administrateur scientifique

**Vincent Bex**

Administrateur chargé  
de l'informatique

**Pauline M. Midgley**

Chef

Service d'appui technique du Groupe de travail I

En couverture: Le glacier de Folgefonna situé sur les hauts plateaux de Sørkjorden, en Norvège (60° 3' N - 6° 20' E) © Yann Arthus-Bertrand / Altitude.

Imprimé en octobre 2013 par le GIEC, Suisse. Il est possible de se procurer des exemplaires électroniques du présent *Résumé à l'intention des décideurs* sur le site Web du GIEC ([www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)) et sur celui consacré à la contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du GIEC ([www.climatechange2013.org](http://www.climatechange2013.org)).

© 2013, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

# **Résumé à l'intention des décideurs**



## Résumé à l'intention des décideurs

### Équipe de rédaction principale:

Lisa V. Alexander (Australie), Simon K. Allen (Suisse/Nouvelle-Zélande), Nathaniel L. Bindoff (Australie), François-Marie Bréon (France), John A. Church (Australie), Ulrich Cubasch (Allemagne), Seita Emori (Japon), Piers Forster (Royaume-Uni), Pierre Friedlingstein (Royaume-Uni/Belgique), Nathan Gillett (Canada), Jonathan M. Gregory (Royaume-Uni), Dennis L. Hartmann (États-Unis d'Amérique), Eystein Jansen (Norvège), Ben Kirtman (États-Unis d'Amérique), Reto Knutti (Suisse), Krishna Kumar Kanikicharla (Inde), Peter Lemke (Allemagne), Jochem Marotzke (Allemagne), Valérie Masson-Delmotte (France), Gerald A. Meehl (États-Unis d'Amérique), Igor I. Mokhov (Fédération de Russie), Shilong Piao (Chine), Gian-Kasper Plattner (Suisse), Qin Dahe (Chine), Venkatachalam Ramaswamy (États-Unis d'Amérique), David Randall (États-Unis d'Amérique), Monika Rhein (Allemagne), Maisa Rojas (Chili), Christopher Sabine (États-Unis d'Amérique), Drew Shindell (États-Unis d'Amérique), Thomas F. Stocker (Suisse), Lynne D. Talley (États-Unis d'Amérique), David G. Vaughan (Royaume-Uni), Shang-Ping Xie (États-Unis d'Amérique).

### Contributeurs:

Myles R. Allen (Royaume-Uni), Olivier Boucher (France), Don Chambers (États-Unis d'Amérique), Jens Hesselbjerg Christensen (Danemark), Philippe Ciais (France), Peter U. Clark (États-Unis d'Amérique), Matthew Collins (Royaume-Uni), Josefino C. Comiso (États-Unis d'Amérique), Viviane Vasconcellos de Menezes (Australie/Brésil), Richard A. Feely (États-Unis d'Amérique), Thierry Fichefet (Belgique), Arlene M. Fiore (États-Unis d'Amérique), Gregory Flato (Canada), Jan Fuglestvedt (Norvège), Gabriele Hegerl (Royaume-Uni/Allemagne), Paul J. Hezel (Belgique/États-Unis d'Amérique), Gregory C. Johnson (États-Unis d'Amérique), Georg Kaser (Autriche/Italie), Vladimir Kattsov (Fédération de Russie), John Kennedy (Royaume-Uni), Albert M. G. Klein Tank (Pays-Bas), Corinne Le Quéré (Royaume-Uni), Gunnar Myhre (Norvège), Timothy Osborn (Royaume-Uni), Antony J. Payne (Royaume-Uni), Judith Perlwitz (États-Unis d'Amérique), Scott Power (Australie), Michael Prather (États-Unis d'Amérique), Stephen R. Rintoul (Australie), Joeri Rogelj (Suisse/Belgique), Matilde Rusticucci (Argentine), Michael Schulz (Allemagne), Jan Sedláček (Suisse), Peter A. Stott (Royaume-Uni), Rowan Sutton (Royaume-Uni), Peter W. Thorne (États-Unis d'Amérique/Norvège/Royaume-Uni), Donald Wuebbles (États-Unis d'Amérique).

### Résumé à référencer comme suit:

GIEC, 2013: Résumé à l'intention des décideurs, *Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [sous la direction de Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Midgley]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique.



## A. Introduction

Dans cette contribution au cinquième Rapport d'évaluation du GIEC (RE5), le Groupe de travail I (GTI) examine de nouveaux éléments concernant le changement climatique sur la base de nombreuses analyses scientifiques indépendantes d'observations du système climatique, d'archives paléoclimatiques, d'études théoriques des processus climatiques et de simulations à l'aide de modèles climatiques. Il s'appuie sur sa contribution au quatrième Rapport d'évaluation du GIEC (RE4) et incorpore de nouveaux résultats de recherche obtenus depuis. Composante du cinquième cycle d'évaluation, le rapport spécial intitulé *Gestion des risques de catastrophes et de phénomènes extrêmes pour les besoins de l'adaptation au changement climatique (SREX)* représente un socle d'informations important sur l'évolution des extrêmes météorologiques et climatiques.

Le présent *Résumé à l'intention des décideurs* suit la structure du rapport du Groupe de travail I. Ce texte s'accompagne d'une mise en exergue des principales conclusions qui, rassemblées, fournissent un résumé concis. L'introduction des principales sections se présente sous la forme d'un bref paragraphe en italique, qui souligne les bases méthodologiques de l'évaluation.

Le degré de certitude associé aux principaux résultats présentés dans ce rapport est fonction de l'appréciation, par les comités de rédaction, des connaissances scientifiques sous-jacentes et est exprimé par un niveau de confiance qualitatif (de *très faible* à *très élevé*) et, lorsque c'est possible, quantifié en termes de probabilités (*extrêmement improbable* à *extrêmement probable*). La confiance dans la validité d'un résultat se fonde sur la nature, la quantité, la qualité et la cohérence des éléments correspondants (données, compréhension d'un mécanisme, théorie, modèles, avis d'experts, etc.) et le degré de cohérence<sup>1</sup>. Les estimations probabilistes de mesures quantifiées de l'incertitude d'un résultat se fondent sur l'analyse statistique d'observations ou de résultats de modèles, ou les deux, et l'avis d'experts<sup>2</sup>. Le cas échéant, les résultats sont également formulés sous forme d'énoncés des faits, sans recourir à des qualificatifs d'incertitude (Voir chapitre 1 et encadré RT.1 pour obtenir davantage de précisions concernant les termes spécifiques que le GIEC utilise pour traduire l'incertitude).

Les paragraphes de fond du présent *Résumé à l'intention des décideurs* reposent sur les sections des chapitres du rapport détaillé ainsi que sur le Résumé technique. Ces références sont indiquées entre accolades.

## B. Changements observés dans le système climatique

*Les observations du système climatique s'appuient sur des mesures directes et sur la télédétection à partir de satellites ou d'autres plates-formes. À l'échelle mondiale, les observations de l'ère instrumentale ont débuté vers le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle pour certaines variables telles que la température, les jeux de données d'observation étant plus complets et diversifiés à partir des années 1950. Des reconstructions effectuées à partir d'archives paléoclimatiques permettent d'étendre certains enregistrements sur plusieurs centaines voire plusieurs millions d'années vers le passé. L'ensemble de ces données fournit une vision globale de la variabilité et des changements à long terme de l'atmosphère, de l'océan, de la cryosphère et de la surface des terres émergées.*

**Le réchauffement du système climatique est sans équivoque et, depuis les années 1950, beaucoup de changements observés sont sans précédent depuis des décennies voire des millénaires. L'atmosphère et l'océan se sont réchauffés, la couverture de neige et de glace a diminué, le niveau des mers s'est élevé et les concentrations des gaz à effet de serre ont augmenté (voir figures RID.1, RID.2, RID.3 et RID.4). {2.2, 2.4, 3.2, 3.7, 4.2-4.7, 5.2, 5.3, 5.5-5.6, 6.2, 13.2}**

<sup>1</sup> Dans le présent *Résumé à l'intention des décideurs*, les termes suivants sont utilisés pour décrire les éléments disponibles: limités, moyens ou robustes et leur degré de cohérence: faible, moyen ou élevé. Cinq qualificatifs sont utilisés pour exprimer le degré de confiance: très faible, faible, moyen, élevé et très élevé, en caractères italiques, ex. *degré de confiance moyen*. Pour un ensemble d'éléments et de degré de cohérence donné, différents niveaux de confiance peuvent être attribués, mais une augmentation du niveau des éléments et du degré de cohérence est corrélée à une augmentation du degré de confiance (voir chapitre 1 et encadré RT.1 pour plus de précisions).

<sup>2</sup> Dans le présent *Résumé à l'intention des décideurs*, les termes suivants ont été utilisés pour indiquer la probabilité évaluée d'un résultat: quasiment certain, probabilité de 99–100 %, très probable 90–100 %, probable 66–100 %, à peu près aussi probable qu'improbable 33–66 %, improbable 0–33 %, très improbable 0–10 %, exceptionnellement improbable 0–1 %. Des termes supplémentaires (extrêmement probable 95–100 %, plus probable qu'improbable >50–100 %, et extrêmement improbable 0–5 %) peuvent également être utilisés le cas échéant. L'évaluation de la probabilité est exprimée en italique, ex. *très probable* (voir chapitre 1 et encadré RT.1 pour plus de précisions).

## B.1 L'atmosphère

Chacune des trois dernières décennies a été successivement plus chaude à la surface de la Terre que toutes les décennies précédentes depuis 1850 (voir figure RID.1). Les années 1983 à 2012 constituent *probablement* la période de 30 ans la plus chaude qu'ait connue l'hémisphère Nord depuis 1 400 ans (*degré de confiance moyen*). {2.4, 5.3}

- La tendance linéaire de la moyenne globale des données de température de surface combinant les terres émergées et les océans indique un réchauffement de 0,85 [0,65 à 1,06] °C<sup>3</sup> au cours de la période 1880–2012, pour laquelle il existe plusieurs jeux de données indépendants. L'augmentation totale de la moyenne entre la période 1850-1900 et la période 2003-2012 est de 0,78 [0,72 à 0,85] °C, en s'appuyant sur l'ensemble de données le plus long disponible<sup>4</sup> (voir figure RID.1a); {2.4}
- Sur la plus longue période pour laquelle le calcul relatif aux tendances régionales est suffisamment exhaustif (1901-2012), la quasi-totalité de la surface du globe a connu un réchauffement (voir figure RID.1b); {2.4}
- La température moyenne à la surface du globe présente une grande variabilité aux échelles décennale et interannuelle (voir figure RID.1), qui se superpose à un réchauffement multidécennal considérable. En raison de la variabilité naturelle, les tendances calculées sur des séries courtes sont très sensibles à la date de début et de fin de la période considérée, et ne reflètent généralement pas les tendances climatiques de long terme. Par exemple, le rythme du réchauffement sur les 15 dernières années (1998–2012; 0,05 [–0,05 à +0,15] °C par décennie), qui débutent par un fort épisode El Niño, est inférieur à la tendance calculée depuis 1951 (1951–2012; 0,12 [0,08 à 0,14] °C par décennie)<sup>5</sup>; {2.4}
- Les reconstructions de la température en surface à l'échelle continentale font apparaître, avec un *degré de confiance élevé*, des intervalles de plusieurs décennies pendant la période d'anomalie climatique médiévale (années 950 à 1250) au cours desquels la température était, dans certaines régions, aussi élevée qu'à la fin du XX<sup>e</sup> siècle. Ces intervalles chauds à l'échelle régionale ne se sont pas produits de manière aussi cohérente dans les différentes régions que le réchauffement constaté à la fin du XX<sup>e</sup> siècle (*degré de confiance élevé*); {5.5}
- Il est *quasiment certain* qu'à l'échelle mondiale, la troposphère s'est réchauffée depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle. Des observations plus complètes permettent d'associer un degré de confiance plus élevé aux estimations des changements de température troposphérique dans la partie extratropicale de l'hémisphère Nord qu'ailleurs. Le *degré de confiance* concernant la rapidité du réchauffement et sa structure verticale dans la troposphère extratropicale de l'hémisphère Nord est *moyen*, et *faible* ailleurs; {2.4}
- Le *degré de confiance* concernant la variation de la moyenne mondiale des précipitations sur les régions continentales depuis 1901 est *faible* avant 1951 et *moyen* après cette date. En moyenne sur les régions continentales des moyennes latitudes de l'hémisphère Nord, les précipitations ont augmenté depuis 1901 (*degré de confiance moyen* avant 1951 et *élevé* ensuite). Pour les autres latitudes, le *degré de confiance* relatif aux tendances régionales de long terme positives ou négatives est *faible* (voir figure RID.2); {Résumé technique, Composante thématique 1, figure 2; 2.5}
- Des changements concernant de nombreux phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes ont été observés depuis environ 1950 (voir tableau RID.1 pour plus de détails). Il est *très probable* que le nombre de journées et de nuits froides a diminué et que le nombre de journées et de nuits chaudes a augmenté à l'échelle du globe<sup>6</sup>. Il est *probable* que la fréquence des vagues de chaleur a augmenté sur une grande partie de l'Europe, de l'Asie et de l'Australie. Il est *probable* qu'il y a davantage de régions continentales où le nombre d'épisodes de précipitations abondantes a augmenté plutôt que diminué. La fréquence ou l'intensité des épisodes de fortes précipitations a *probablement* augmenté en Amérique du Nord et en Europe. Sur les autres continents, le *degré de confiance* associé à la transformation des fortes précipitations est au mieux *moyen*. {2.6}

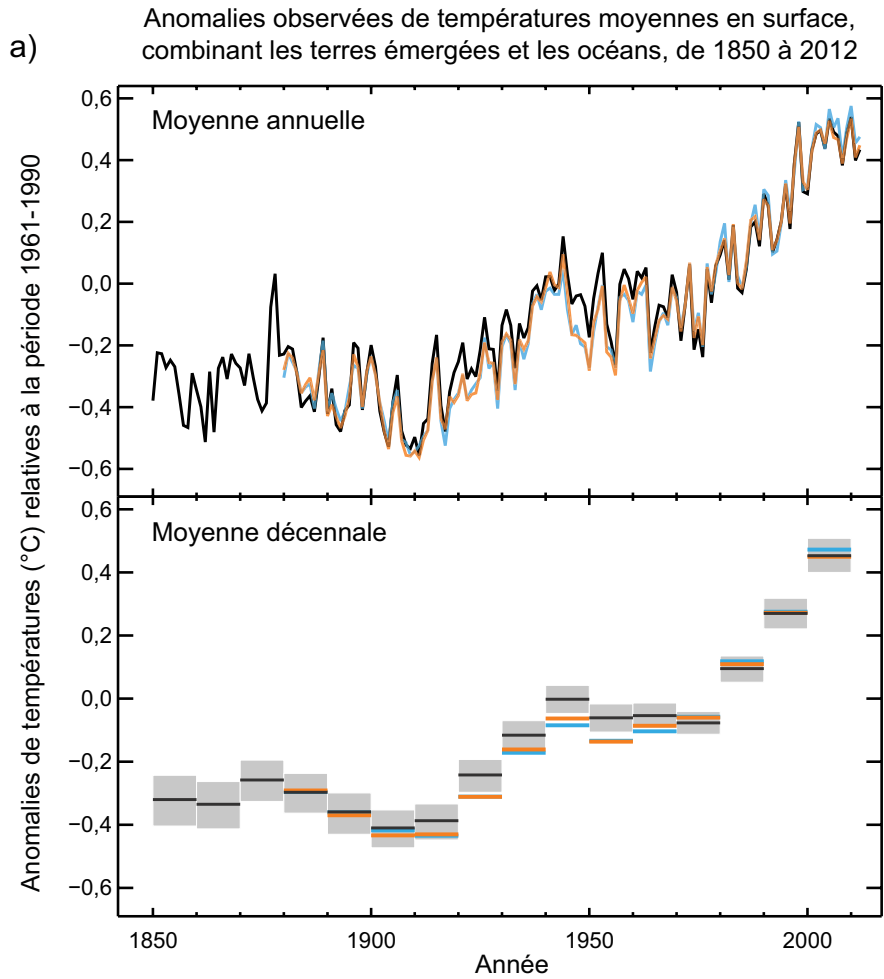
<sup>3</sup> Dans la contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation, l'incertitude est quantifiée en utilisant des intervalles d'incertitude à 90 %, sauf mention contraire. On s'attend à ce que l'intervalle d'incertitude à 90 %, indiqué entre crochets ait une probabilité de 90 % de couverture de la valeur estimée. Les intervalles d'incertitude ne sont pas nécessairement symétriques de part et d'autre de l'estimation la plus probable correspondante. Une estimation la plus probable de cette valeur est également donnée, lorsque celle-ci est disponible.

<sup>4</sup> Les deux méthodes présentées dans cette puce ont été aussi utilisées dans le quatrième Rapport d'évaluation. La première méthode permet de calculer une différence en utilisant le meilleur ajustement linéaire de la tendance de tous les points entre 1880 et 2012. La seconde permet de calculer la différence entre les moyennes pour les deux périodes 1850 à 1900 et 2003 à 2012. C'est pourquoi les résultats obtenus par ces deux méthodes et leurs intervalles d'incertitude à 90 % ne sont pas directement comparables. {2.4}

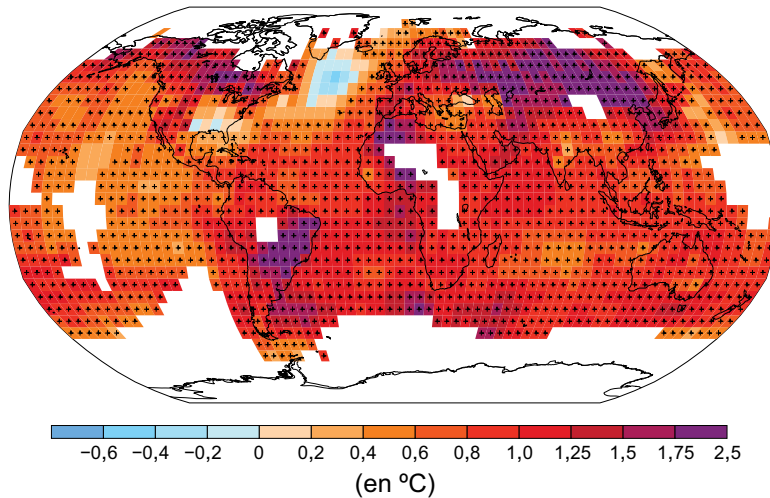
<sup>5</sup> Les tendances pour des périodes de 15 ans commençant en 1995, 1996 et 1997 sont respectivement de 0,13 [0,02 à 0,24], 0,14 [0,03 à 0,24] et 0,07 [–0,02 à 0,18] °C par décennie.

<sup>6</sup> Se référer au glossaire pour les définitions des termes journées froides et nuits froides, journées chaudes et nuits chaudes, vagues de chaleur.





b) Évolution de la température en surface observée entre 1901 et 2012



**Figure RID.1 |** a) Anomalies observées de températures moyennes en surface, combinant les terres émergées et les océans, de 1850 à 2012, tirées de trois ensembles de données. Partie supérieure: valeurs moyennes annuelles. Partie inférieure: valeurs moyennes décennales comprenant l'estimation d'incertitude pour un ensemble de données (noir). Les anomalies sont relatives à la moyenne sur la période 1961–1990. b) Carte de l'évolution des températures en surface observée entre 1901 et 2012, dérivée des tendances de températures déterminées par régression linéaire d'un ensemble de données (courbe orange dans la partie a). Les tendances ont été calculées uniquement pour les régions où la disponibilité des données permet une estimation robuste (c'est-à-dire, uniquement pour les mailles présentant des relevés complets à plus de 70 % et plus de 20 % de données disponibles dans les 10 premiers et 10 derniers % de la période temporelle). Les autres régions sont en blanc. Les mailles pour lesquelles la tendance est significative au niveau de 10 % sont indiquées par le signe +. La liste des ensembles de données et des détails techniques supplémentaires se trouvent dans les annexes du Résumé technique. [figures 2.19 à 2.21; figure RT.2]

**Tableau RID.1** | Phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes; évaluation à l'échelle du globe des changements récemment observés et de la contribution humaine aux changements, et projection d'autres changements pour le début (2016-2035) et la fin (2081-2100) du XXI<sup>e</sup> siècle. Les caractères gras indiquent les cas dans lesquels le RE5 (en noir) apporte une révision (\*) à l'évaluation à l'échelle du globe proposée dans le rapport SREX (en bleu) ou le RE4 (en rouge). Les projections pour le début du XXI<sup>e</sup> siècle ne figuraient pas dans les précédents rapports d'évaluation. Les projections du RE5 sont données en prenant 1986-2005 comme période de référence et se fondent sur les nouveaux scénarios RCP (profils représentatifs d'évolution de concentration) (voir encadré RID.1), sauf mention contraire. Voir les définitions des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes dans le glossaire.

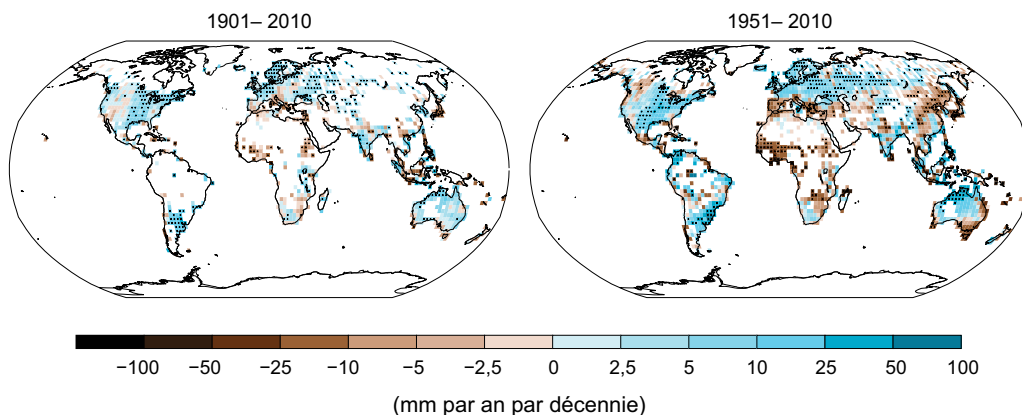
Phénomène et évolution anticipée	Évaluation de la probabilité de survenance des changements (normalement depuis 1950 sauf indication contraire)	Évaluation de la contribution humaine aux changements observés		Probabilité d'autres changements	
		Début du XXI <sup>e</sup> siècle	Fin du XXI <sup>e</sup> siècle	Début du XXI <sup>e</sup> siècle	Fin du XXI <sup>e</sup> siècle
Journées et nuits froides moins nombreuses et/ou moins nombreuses sur la plupart des terres émergées	(2.6) <i>Très probable</i> <i>Très probable</i> <i>Très probable</i>	{10.6} <i>Très probable</i> <i>Probable</i> <i>Probable</i>	{11.3} <i>Quasiment certain</i> <i>Quasiment certain</i> <i>Quasiment certain</i>	{12.4}	{12.4}
Journées et nuits chaudes plus chaudes et/ou plus fréquentes sur la plupart des terres émergées	(2.6) <i>Très probable</i> <i>Très probable</i> <i>Très probable</i>	{10.6} <i>Probable</i> <i>Probable (nuits uniquement)</i>	{11.3} <i>Quasiment certain</i> <i>Quasiment certain</i> <i>Quasiment certain</i>	{12.4}	{12.4}
Périodes/vagues de chaleur plus fréquentes et/ou plus longues sur la plupart des terres émergées	<b>Degré de confiance moyen</b> à l'échelle mondiale (2.6) Probable dans de grandes parties de l'Europe, de l'Asie et de l'Australie <i>Degré de confiance moyen</i> dans de nombreuses régions (mais pas toutes) <i>Probable</i>	{10.6}	Pas d'évaluation formelle <sup>b</sup> {11.3}	<i>Très probable</i> <i>Très probable</i> <i>Très probable</i>	{12.4}
Épisodes de précipitations abondantes. Augmentation de la fréquence, de l'intensité et/ou du nombre des épisodes de précipitations abondantes	(2.6) Probable que les terres émergées sont plus nombreuses à enregistrer des augmentations que des diminutions <sup>c</sup> <i>Probable</i> que les terres émergées sont plus nombreuses à enregistrer des augmentations que des diminutions <i>Probable pour la plupart des terres émergées</i>	{7.6, 10.6}	Probable sur de nombreuses terres émergées {11.3}	<b>Très probable</b> sur la plupart des terres émergées des latitudes moyennes et sur les régions tropicales humides <i>Probable</i> sur de nombreuses régions <i>Très probable</i> sur la plupart des terres émergées	{12.4}
Augmentation de l'intensité et/ou de la durée des sécheresses	(2.6) <b>Degré de confiance faible</b> à l'échelle mondiale Changements probables dans certaines régions <sup>d</sup> <i>Degré de confiance moyen</i> dans certaines régions <i>Probable dans de nombreuses régions, depuis 1970<sup>e</sup></i>	{10.6}	Degré de confiance faible <sup>g</sup> {11.3}	<b>Probable</b> (degré de confiance moyen) à une échelle régionale et mondiale <sup>h</sup> <i>Degré de confiance moyen</i> dans certaines régions <i>Probable<sup>e</sup></i>	{12.4}
Augmentation de l'activité des cyclones tropicaux intenses	(2.6) <b>Degré de confiance faible</b> concernant les changements à long terme (à l'échelle des siècles) <i>Quasiment certain</i> en Atlantique Nord depuis 1970 <i>Degré de confiance faible</i> <i>Probable dans certaines régions, depuis 1970</i>	{10.6}	Degré de confiance faible {11.3}	<b>Plus probable qu'improbable</b> dans le Pacifique Nord-Ouest et l'Atlantique Nord <i>Plus probable qu'improbable</i> dans certains bassins <i>Probable</i>	{14.6}
Incidence ou amplitude accrue d'une très haute élévation du niveau des mers	(3.7) <i>Probable</i> (depuis 1970). <i>Probable</i> (fin du XXI <sup>e</sup> siècle) <i>Probable</i>	{3.7}	Probable <sup>k</sup> {13.7}	<b>Très probable<sup>l</sup></b> <i>Très probable<sup>m</sup></i> <i>Probable</i>	{13.7}

\* Il est difficile de comparer directement les résultats des évaluations des différents rapports. Pour certaines variables climatiques, des aspects différents ont été évalués et la note d'orientation révisée concernant les incertitudes s'applique au rapport SREX et au cinquième Rapport d'évaluation. La disponibilité de nouvelles informations, la meilleure compréhension scientifique, les analyses continues des données et des modèles ainsi que les différences spécifiques des méthodologies utilisées dans les études évaluées contribuent toutes aux résultats révisés des évaluations.

Notes:

- L'attribution se base sur les études de cas disponibles. Il est probable que l'influence humaine a plus que doublé la probabilité d'occurrence de vagues de chaleur observées en certains endroits.
- Les projections à court terme des modèles suggèrent une augmentation de la durée, de l'intensité et de l'étendue spatiale des vagues de chaleur et des périodes de chaleur.
- Pour la plupart des continents, le degré de confiance associé aux tendances n'est pas supérieur à moyen, à l'exception de l'Amérique du Nord et de l'Europe où il est probable que des augmentations de la fréquence ou de l'intensité des épisodes de précipitations abondantes se sont produites avec des variations saisonnières et/ou régionales. Il est très probable que des augmentations se sont produites dans le centre de l'Amérique du Nord.
- Il est probable que la fréquence et l'intensité des sécheresses ont augmenté dans le bassin méditerranéen et en Afrique de l'Ouest, et il est probable qu'elles ont diminué dans le centre de l'Amérique du Nord et au nord-ouest de l'Australie.
- Dans le RE4, on évalue la surface touchée par la sécheresse.
- Dans le SREX, on estimait avec un degré de confiance moyen que les influences d'origine anthropique avaient contribué à certains changements concernant les configurations des sécheresses observées au cours de la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle, et ce, compte tenu de l'incidence qu'on leur attribuait sur les changements de précipitations et de température. On y estimait aussi que l'attribution des changements portant sur les sécheresses à l'échelle d'une région en particulier présentait un degré de confiance faible.
- Selon les projections obtenues (degré de confiance moyen) suivant le scénario RCP8.5, il est probable que, à l'échelle tant régionale que mondiale, l'humidité du sol diminuera et que les sécheresses agricoles augmenteront dans les régions déjà arides à l'heure actuelle et ce vers la fin du XXI<sup>e</sup> siècle. Une baisse de l'humidité du sol dans les régions du bassin méditerranéen, du sud-ouest des États-Unis d'Amérique et de l'Afrique australe corrobore les changements projetés de la circulation de Hadley et l'augmentation de la température en surface, si bien qu'on estime avec un degré de confiance élevé que la surface s'assèchera probablement dans ces régions d'ici la fin du siècle, d'après le scénario RCP8.5.
- On estime avec un degré de confiance moyen qu'une réduction du forçage des aérosols au-dessus de l'Atlantique Nord a contribué, au moins en partie, à l'augmentation observée de l'activité cyclonique tropicale depuis les années 1970 dans cette région.
- Indication basée sur des avis d'experts et sur l'évaluation des projections établies à partir du scénario SRES A1B ou d'un scénario analogique.
- L'attribution se base sur un rapport étroit entre les changements observés et les valeurs extrêmes et moyennes du niveau des mers.
- On estime avec un degré de confiance élevé que cette augmentation de l'élévation extrême du niveau des mers découlera principalement d'une augmentation de l'élévation moyenne du niveau des mers. On accorde un degré de confiance faible aux projections de tempêtes et d'ondes de tempêtes associées, d'échelle régionale.
- Dans le SREX, on estimait que l'élévation du niveau moyen des mers tendrait très probablement à augmenter les valeurs extrêmes des hautes eaux côtières.

## Changements observés concernant les précipitations annuelles sur les terres émergées



**Figure RID.2** | Cartes des changements observés de précipitations entre 1901 et 2010, et entre 1951 et 2010 (tendances calculées en utilisant les mêmes critères que pour la figure RID.1) à partir d'un ensemble de données. Pour obtenir davantage de détails techniques, voir les annexes du Résumé technique. {Résumé technique, Composante thématique 1, figure 2; figure 2.29}

## B.2 L'océan

**Le réchauffement océanique constitue l'essentiel de l'augmentation de la quantité d'énergie emmagasinée au sein du système climatique et représente plus de 90 % de l'énergie accumulée entre 1971 et 2010 (degré de confiance élevé). Il est quasiment certain que l'océan superficiel (jusqu'à 700 m de profondeur) s'est réchauffé entre 1971 et 2010 (voir figure RID.3), et ce dernier s'est probablement réchauffé entre les années 1870 et 1971. {3.2, encadré 3.1}**

- À l'échelle mondiale, le réchauffement de l'océan est plus prononcé près de la surface et les 75 premiers mètres de profondeur se sont réchauffés de 0,11 [0,09 à 0,13] °C par décennie sur la période 1971–2010. Depuis le RE4, des erreurs systématiques d'origine instrumentale dans les mesures de température de l'océan superficiel ont été identifiées et rectifiées, ce qui augmente le degré de confiance du changement évalué; {3.2}
- Il est *probable* que l'océan s'est réchauffé entre 700 et 2 000 m de profondeur entre 1957 et 2009. On dispose de suffisamment d'observations pour la période de 1992 à 2005 pour effectuer une évaluation globale du changement de température en dessous de 2 000 m. Il n'y a *probablement* pas de tendance significative entre 2 000 et 3 000 m sur cette période. Il est *probable* que l'océan profond en dessous de 3 000 m s'est réchauffé sur cette période, le réchauffement le plus important étant observé dans l'océan Austral; {3.2}
- Pendant la période de 40 ans relativement bien documentée allant de 1971 à 2010, plus de 60 % de l'augmentation nette d'énergie absorbée par le système climatique a été emmagasinée dans l'océan superficiel (0-700 m) et environ 30 %, dans l'océan en dessous de 700 m. L'augmentation du contenu thermique de l'océan superficiel pendant cette période, estimée par une tendance linéaire, est de 17 [15 à 19]·10<sup>22</sup> J<sup>7</sup> (figure RID.3); {3.2, encadré 3.1}
- Il est *à peu près aussi probable qu'improbable* que le contenu thermique océanique de 0 à 700 m a augmenté plus lentement pendant la période 2003–2010 que pendant la période 1993–2002 (voir figure RID.3). L'absorption de chaleur entre 700 et 2 000 m, où la variabilité interannuelle est plus faible, s'est *probablement* poursuivie avec la même intensité entre 1993 et 2009; {3.2, encadré 9.2}
- Il est *très probable* que les régions à salinité élevée (où l'évaporation domine le bilan d'eau en surface) sont devenues plus salées, tandis que les régions à faible salinité (où les précipitations dominent) sont devenues moins salées depuis les années 1950. Ces tendances régionales de la salinité océanique suggèrent des changements d'évaporation et de précipitations sur les océans (*degré de confiance moyen*); {2.5, 3.3, 3.5}
- Il n'existe pas d'élément observationnel montrant une tendance de la circulation méridienne océanique de retournement de l'Atlantique (AMOC) sur la base de 10 ans d'observations de l'AMOC, ni sur la base de séries d'observations plus longues des composantes individuelles de l'AMOC. {3.6}

## B.3 La cryosphère

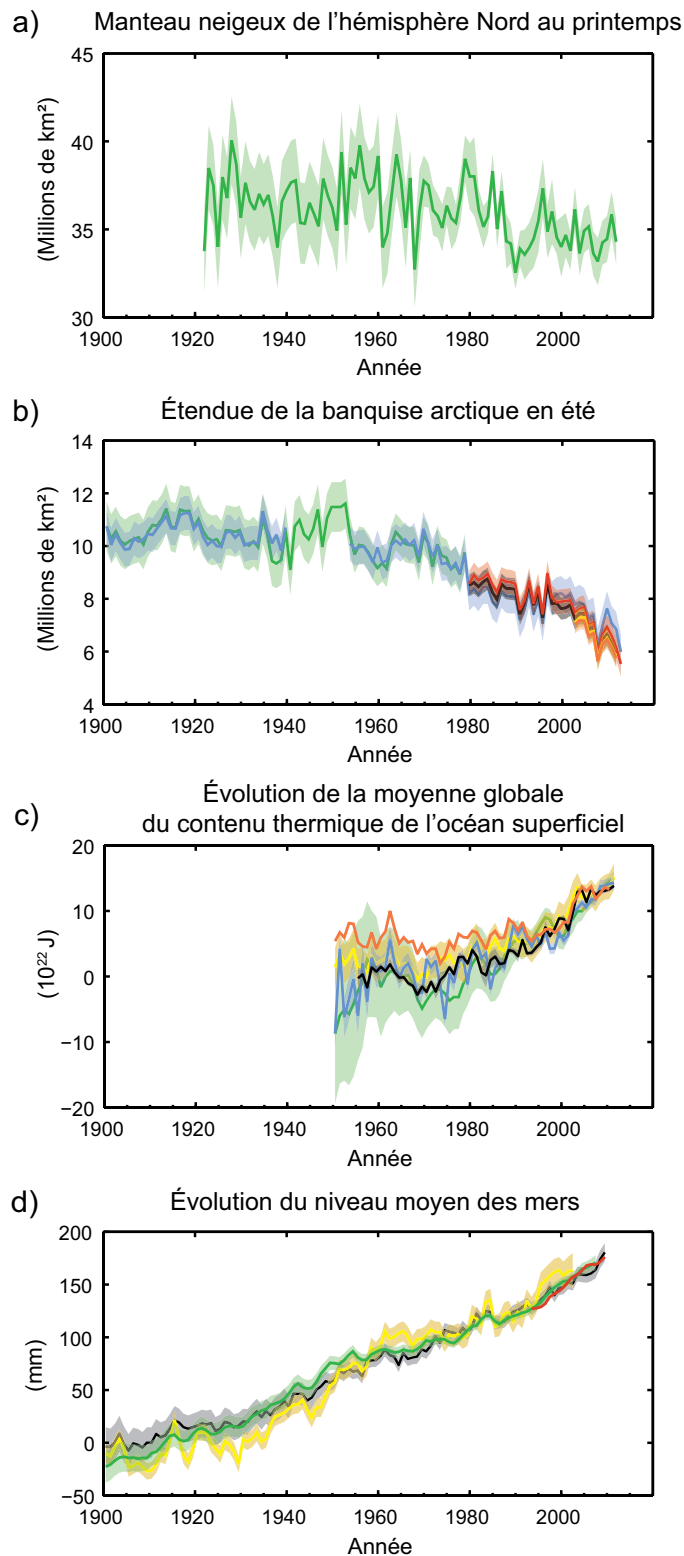
**Au cours des deux dernières décennies, la masse des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique a diminué, les glaciers de presque toutes les régions du globe ont continué à se réduire et l'étendue de la banquise arctique et celle du manteau neigeux de l'hémisphère Nord au printemps ont continué à diminuer (*degré de confiance élevé*) (voir figure RID.3). {4.2–4.7}**

- La perte de glace<sup>8</sup> moyenne des glaciers des diverses régions du monde, en excluant les glaciers situés à la périphérie des calottes glaciaires<sup>9</sup>, était *très probablement* de 226 [91 à 361] Gt an<sup>-1</sup> pour la période 1971–2009, et très probablement de 275 [140 à 410] Gt an<sup>-1</sup> pour la période 1993–2009<sup>10</sup>; {4.3}
- La perte de glace moyenne de la calotte du Groenland a *très probablement* fortement augmenté, passant de 34 [–6 à 74] Gt an<sup>-1</sup> au cours de la période 1992–2001 à 215 [157 à 274] Gt an<sup>-1</sup> au cours de la période 2002–2011; {4.4}
- La perte de glace moyenne de la calotte glaciaire de l'Antarctique a *probablement* augmenté, passant de 30 [–37 à 97] Gt an<sup>-1</sup> au cours de la période 1992–2001 à 147 [72 à 221] Gt an<sup>-1</sup> au cours de la période 2002–2011. On peut affirmer, avec un *degré de confiance très élevé* que ces pertes concernent principalement le nord de la péninsule Antarctique et le secteur de la mer d'Amundsen en Antarctique de l'Ouest; {4.4.}
- L'étendue moyenne annuelle de la banquise arctique a diminué au cours de la période 1979–2012 à une vitesse qui se situait *très probablement* entre 3,5 et 4,1 % par décennie (entre 0,45 et 0,51 million de km<sup>2</sup> par décennie), et *très probablement* entre 9,4 et 13,6 % par décennie (entre 0,73 et 1,07 million de km<sup>2</sup> par décennie) pour le minimum d'été (glace pluriannuelle). La diminution moyenne de l'étendue moyenne décennale de la banquise arctique a été plus rapide en été que pour les autres saisons (*degré de confiance élevé*); l'étendue spatiale a diminué en toutes saisons et à chaque décennie successive depuis 1979 (*degré de confiance élevé*) (voir figure RID.3). À partir des reconstructions, on peut affirmer, avec un *degré de confiance moyen*, que, sur les trois dernières décennies, le recul de la banquise arctique en été était sans précédent et que les températures de surface de la mer en Arctique étaient anormalement élevées, au moins dans le contexte des 1 450 dernières années; {4.2, 5.5}
- Il est *très probable* que l'étendue moyenne annuelle de la banquise en Antarctique a augmenté de 1,2 à 1,8 % par décennie (de 0,13 à 0,20 million de km<sup>2</sup> par décennie) entre 1979 et 2012. On estime, avec un *degré de confiance élevé*, que cette vitesse annuelle présente de fortes disparités régionales, avec des augmentations dans certains secteurs et des diminutions dans d'autres secteurs; {4.2}
- On peut affirmer, avec un *degré de confiance très élevé*, que l'étendue du manteau neigeux de l'hémisphère Nord a diminué depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle (voir figure RID.3). L'étendue du manteau neigeux de l'hémisphère Nord a diminué de 1,6 [0,8 à 2,4] % par décennie pour mars et avril, et 11,7 [8,8 à 14,6] % par décennie pour juin au cours de la période 1967–2012. Au cours de cette période, l'étendue du manteau neigeux dans l'hémisphère Nord n'a pas montré d'augmentation statistiquement significative, quel que soit le mois; {4.5}
- On peut affirmer, avec un *degré de confiance élevé*, que les températures du pergélisol ont augmenté dans la plupart des régions depuis le début des années 1980. Le réchauffement observé atteignait 3 °C dans certaines régions du nord de l'Alaska (entre le début des années 1980 et le milieu des années 2000) et 2 °C dans certaines régions du nord de la partie européenne de la Russie (entre 1971 et 2010). Dans cette dernière région, une réduction considérable de l'épaisseur et de l'étendue spatiale du pergélisol a été observée au cours de la période 1975–2005 (*degré de confiance moyen*) ; {4.7}
- De multiples éléments indiquent que l'Arctique connaît un réchauffement très important depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle. {encadré 5.1, 10.3}

<sup>8</sup> Toutes les mentions de «perte de glace» ou de «perte de masse» font référence à une perte nette de glace, c.-à-d. l'accumulation moins la fonte et le détachement d'icebergs.

<sup>9</sup> Pour des raisons méthodologiques, cette évaluation de perte de glace des calottes glaciaires de l'Antarctique et du Groenland inclut les changements affectant les glaciers situés à leur périphérie. Ces glaciers périphériques sont donc exclus des valeurs fournies pour les glaciers.

<sup>10</sup> 100 Gt an<sup>-1</sup> de perte de glace équivalent à environ 0,28 mm an<sup>-1</sup> d'élévation du niveau moyen des mers



**Figure RID.3** | Différents indicateurs observés des évolutions du climat du globe: a) étendue moyenne du manteau neigeux de l'hémisphère Nord en mars-avril (printemps); b) étendue moyenne de la banquise arctique en juillet-août-septembre (été); c) évolution de la moyenne globale du contenu thermique de l'océan superficiel (0-700 m) aligné par rapport à 2006-2010, et par rapport à la moyenne de tous les ensembles de données pour 1970; d) niveau moyen des mers par rapport à la moyenne 1900-1905 de l'ensemble de données le plus long, avec tous les ensembles de données alignés par rapport à 1993 (la première année de données d'altimétrie par satellites). Toutes les séries chronologiques (courbes de couleur représentant différents ensembles de données) indiquent des valeurs annuelles et, lorsqu'elles sont estimées, les incertitudes sont représentées par des zones de différentes couleurs. Voir l'annexe du Résumé technique qui fournit une liste des ensembles de données. {figures 3.2, 3.13, 4.19 et 4.3; FAQ 2.1, figure 2; figure RT.1}



## B.4 Le niveau des mers

**Depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, le rythme d'élévation du niveau moyen des mers est supérieur au rythme moyen des deux derniers millénaires (*degré de confiance élevé*). Entre 1901 et 2010, le niveau moyen des mers à l'échelle du globe s'est élevé de 0,19 m [de 0,17 à 0,21 m] (voir figure RID.3). {3.7, 5.6, 13.2}**

- Les données relatives au niveau des mers issues de mesures indirectes et instrumentales indiquent qu'une transition a eu lieu entre la fin du XIX<sup>e</sup> et le début du XX<sup>e</sup> siècle, où l'on est passé de vitesses d'élévation relativement faibles au cours des deux millénaires précédents à des vitesses plus importantes (*degré de confiance élevé*). Il est *probable* que la vitesse d'élévation du niveau des mers continue à augmenter depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle; {3.7, 5.6, 13.2}
- Il est *très probable* que la vitesse moyenne d'élévation du niveau des mers a été de 1,7 [1,5 à 1,9] mm an<sup>-1</sup> entre 1901 et 2010, de 2,0 [1,7 à 2,3] mm an<sup>-1</sup> entre 1971 et 2010, et de 3,2 [2,8 à 3,6] mm an<sup>-1</sup> entre 1993 et 2010. Les données fournies par les marégraphes et les satellites altimétriques sont cohérentes en ce qui concerne la vitesse plus élevée caractérisant la dernière période. Il est *probable* que des vitesses aussi élevées se sont produites entre 1920 et 1950; {3.7}
- Depuis le début des années 1970, la somme de la perte de masse des glaciers et de l'expansion thermique des océans due au réchauffement expliquent environ 75 % de l'élévation du niveau moyen des mers (*degré de confiance élevé*). Sur la période 1993-2010, l'élévation du niveau moyen des mers est, avec un *degré de confiance élevé*, en accord avec la somme des contributions observées de l'expansion thermique océanique due au réchauffement (1,1 [0,8 à 1,4] mm an<sup>-1</sup>) et des changements affectant les glaciers (0,76 [0,39 à 1,13] mm an<sup>-1</sup>), la calotte du Groenland (0,33 [0,25 à 0,41] mm an<sup>-1</sup>), la calotte de l'Antarctique (0,27 [0,16 à 0,38] mm an<sup>-1</sup>) et le stockage d'eaux continentales (0,38 [0,26 à 0,49] mm an<sup>-1</sup>). La somme de ces contributions est de 2,8 [2,3 à 3,4] mm an<sup>-1</sup>; {13.3}
- On peut affirmer, avec un *degré de confiance très élevé*, que le niveau moyen maximal des mers pendant la dernière période interglaciaire (il y a 129 000 à 116 000 ans) a été supérieur au niveau actuel d'au moins 5 m durant plusieurs milliers d'années et, avec un *degré de confiance élevé*, que celui-ci ne dépassait pas le niveau actuel de plus de 10 m. Au cours de la dernière période interglaciaire, la calotte glaciaire du Groenland a *très probablement* contribué à élever le niveau moyen des mers de 1,4 à 4,3 m, ce qui implique une contribution additionnelle de la calotte glaciaire de l'Antarctique (*degré de confiance moyen*). Ce changement de niveau des mers s'est produit dans le contexte d'un forçage orbital différent des conditions actuelles et de températures de surface dans les hautes latitudes supérieures d'au moins 2 °C aux températures actuelles, cela en moyenne sur plusieurs millénaires (*degré de confiance élevé*). {5.3 5.6}

## B.5 Le cycle du carbone et autres cycles biogéochimiques

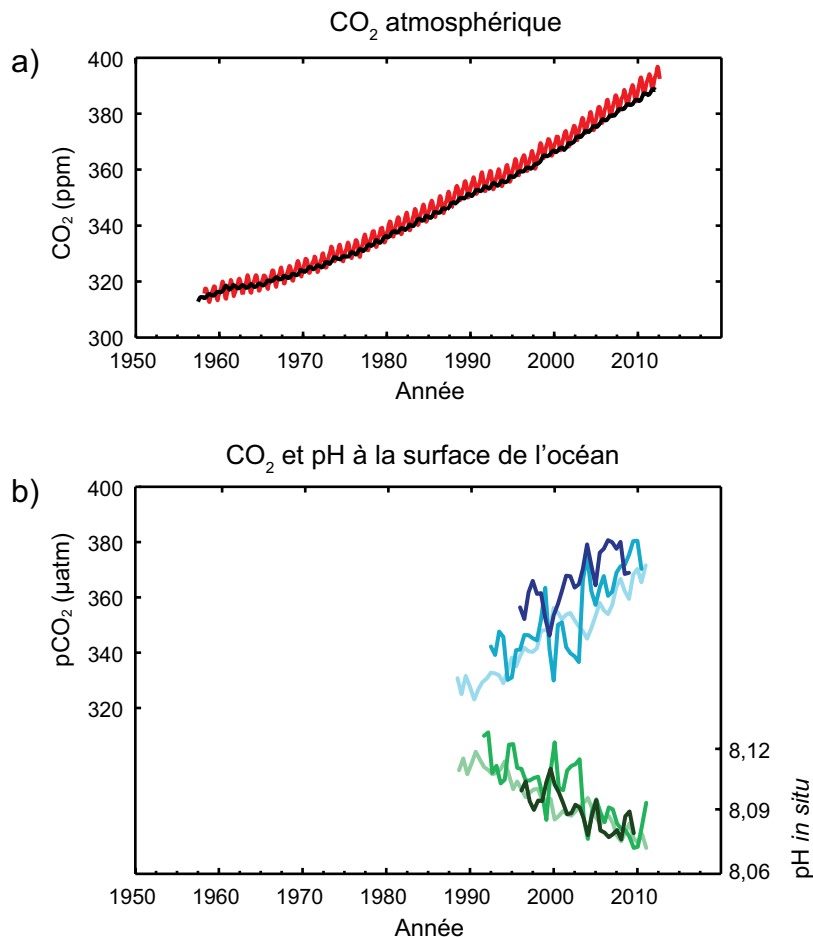
**Les concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone, de méthane et de protoxyde d'azote ont augmenté pour atteindre des niveaux sans précédent depuis au moins 800 000 ans. La concentration du dioxyde de carbone a augmenté de 40 % depuis l'époque préindustrielle. Cette augmentation s'explique en premier lieu par l'utilisation de combustibles fossiles et en second lieu par le bilan des émissions dues aux changements d'utilisation des sols. L'océan a absorbé environ 30 % des émissions anthropiques de dioxyde de carbone, ce qui a entraîné une acidification de ses eaux (voir figure RID.4). {2.2, 3.8, 5.2, 6.2, 6.3}**

- Les concentrations atmosphériques des gaz à effet de serre que sont le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>) et le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) ont toutes augmenté depuis 1750 en raison des activités humaines. En 2011, les concentrations respectives de ces gaz à effet de serre étaient de 391 ppm<sup>11</sup>, 1 803 ppb et 324 ppb, et dépassaient les niveaux préindustriels d'environ 40 %, 150 % et 20 %; {2.2, 5.2, 6.1, 6.2}
- Les concentrations de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O dépassent désormais fortement les plus hautes valeurs de concentrations enregistrées dans les carottes de glace pour les 800 000 dernières années. Les taux moyens d'augmentation des concentrations atmosphériques au siècle dernier sont, avec un *très haut degré de confiance*, sans précédent depuis les 22 000 dernières années; {5.2, 6.1, 6.2}

<sup>11</sup> Ppm (parties par million) ou ppb (parties par milliard) est le ratio du nombre de molécules de gaz sur le nombre total de molécules d'air sec. Par exemple, 300 ppm signifie 300 molécules de gaz pour un million de molécules d'air sec.



- Les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> dues à l'utilisation de combustibles fossiles et à la production de ciment étaient de 8,3 [7,6 à 9,0] GtC<sup>12</sup> an<sup>-1</sup> en moyenne sur 2002-2011 (*degré de confiance élevé*) et étaient de 9,5 [8,7 à 10,3] GtC an<sup>-1</sup> en 2011, soit 54 % au-dessus du niveau de 1990. Les émissions annuelles nettes de CO<sub>2</sub> anthropiques dues à des changements d'utilisation des sols étaient de 0,9 [0,1 à 1,7] GtC an<sup>-1</sup> en moyenne sur la période 2002-2011 (*degré de confiance moyen*); {6.3}
- Entre 1750 et 2011, les émissions de CO<sub>2</sub> dues à l'utilisation de combustibles fossiles et à la production de ciment ont libéré 375 [345 à 405] GtC dans l'atmosphère et l'on estime que la déforestation et d'autres changements d'utilisation des sols ont relâché 180 [100 à 260] GtC. Cela se traduit par des émissions cumulées de 555 [470 à 640] GtC; {6.3}
- Parmi ces émissions anthropiques cumulées de CO<sub>2</sub>, 240 [230 à 250] GtC se sont accumulées dans l'atmosphère, 155 [125 à 185] GtC ont été absorbées par les océans et 160 [70 à 240] GtC se sont accumulées dans les écosystèmes terrestres naturels (c'est-à-dire le puits continental résiduel, hors usage de sols, intégré dans le temps); {figure RT.4, 3.8, 6.3}
- L'acidification de l'océan est quantifiée par la diminution du pH<sup>13</sup>. Le pH de l'eau de mer a diminué de 0,1 depuis le début de l'ère industrielle (*degré de confiance élevé*), soit une augmentation de 26 % de la concentration en ions hydrogène (voir figure RID.4). {3.8, encadré 3.2}



**Figure RID.4** | Différents indicateurs observés décrivant les changements affectant le cycle du carbone global: a) mesures des concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) effectuées à Mauna Loa (19° 32' N, 155° 34' O – en rouge) et au pôle Sud (89° 59' S, 24° 48' O – en noir) depuis 1958; b) mesures de la pression partielle du CO<sub>2</sub> dissous à la surface de l'océan (courbes en bleu) et mesures *in situ* du pH (courbes en vert), une mesure de l'acidité de l'eau de mer. Les mesures présentées proviennent de trois stations de l'océan Atlantique (29° 10' N, 15° 30' O – bleu foncé/vert foncé; 31° 40' N, 64° 10' O - bleu/vert) et de l'océan Pacifique (22° 45' N, 158° 00' O – bleu clair/vert clair). Les détails complets concernant les ensembles de données présentés ici sont fournis dans le rapport sous-jacent et dans les annexes du Rapport technique. {figures 2.1 et 3.18; figure RT.5}

<sup>12</sup> 1 gigatonne de carbone (GtC) = 10<sup>15</sup> grammes de carbone (gC). Cela correspond à 3,667 GtCO<sub>2</sub>.

<sup>13</sup> Le pH est une mesure de l'acidité utilisant une échelle logarithmique: une diminution de la valeur du pH d'une unité correspond à une augmentation d'un facteur 10 de la concentration de l'ion hydrogène, ou acidité.

## C. Facteurs du changement climatique

Les substances et processus naturels et anthropiques qui modifient le bilan énergétique de la Terre sont des facteurs qui provoquent le changement climatique. Le forçage radiatif<sup>14</sup> (FR) quantifie le changement des flux énergétiques dû à l'évolution de ces facteurs en 2011 relativement à 1750, sauf indication contraire. Un FR positif entraîne un réchauffement de la surface, tandis qu'un FR négatif provoque un refroidissement de la surface. Le FR est évalué sur la base d'observations in situ et par télédétection, des propriétés des gaz à effet de serre et des aérosols, et à partir de calculs faisant appel à des modèles numériques représentant les processus observés. Certains composés émis influent sur la concentration atmosphérique d'autres substances. Le FR peut être présenté sur la base des changements de concentration de chaque substance<sup>15</sup>. Une autre possibilité consiste à présenter le FR d'un composé sur la base des émissions, ce qui fournit un lien plus direct avec les activités humaines. Dans ce cas, le FR inclut les contributions de toutes les substances subissant l'influence de cette émission. Le FR anthropique total est identique entre les deux approches quand on considère tous les facteurs. Bien que les deux approches soient utilisées dans le présent Résumé à l'intention des décideurs, les FR sur la base d'émissions sont privilégiés.

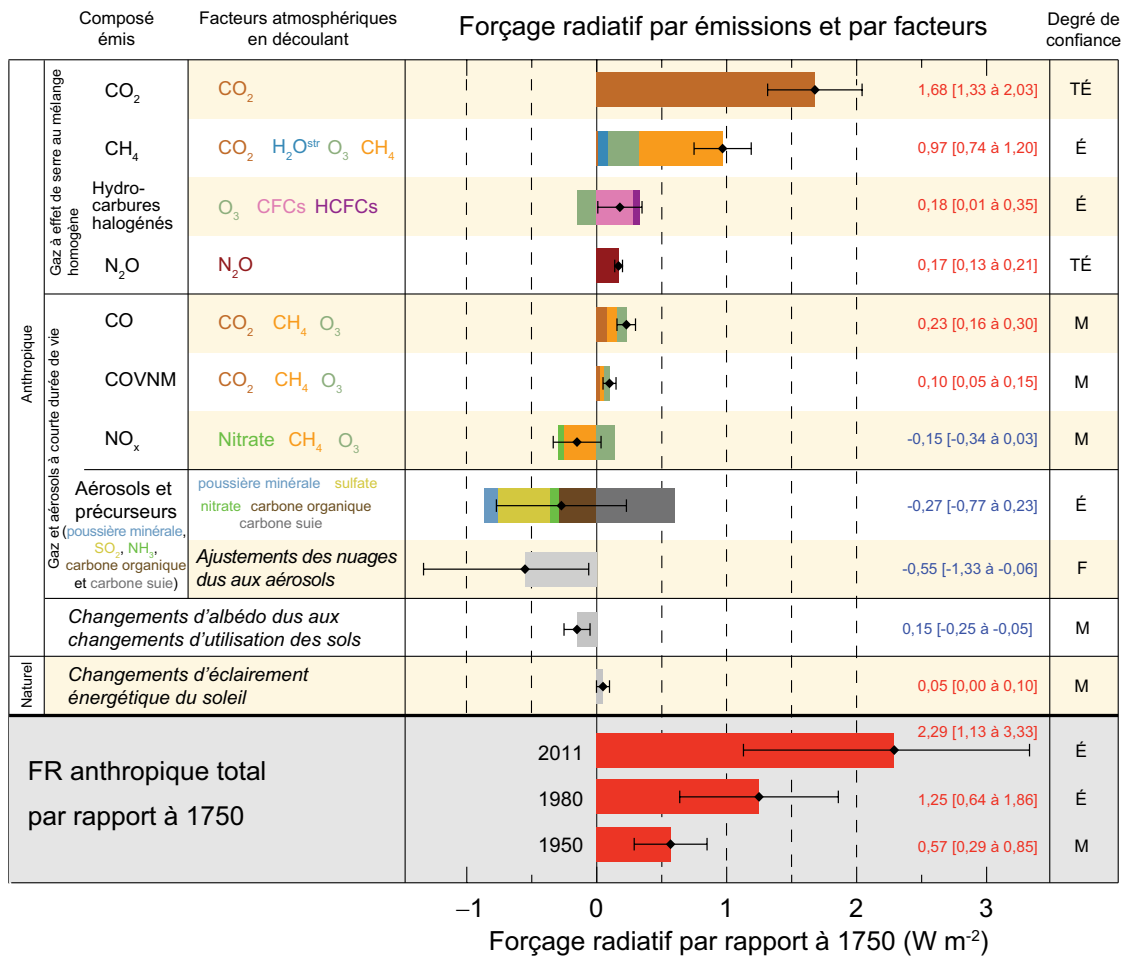
**Le forçage radiatif total est positif et a conduit à une absorption nette d'énergie par le système climatique. La plus grande contribution à ce forçage radiatif provient de l'augmentation de la teneur de l'atmosphère en CO<sub>2</sub> depuis 1750 (voir figure SMP.5). {3.2, encadré 3.1, 8.3, 8.5}**

- Le FR anthropique total en 2011 par rapport à 1750 est de 2,29 [1,13 à 3,33] W m<sup>-2</sup> (voir figure RID.5) et il a progressé plus rapidement depuis 1970 qu'au cours des décennies précédentes. L'estimation du FR anthropique total pour 2011 est supérieure de 43 %, comparativement à l'estimation indiquée dans le RE4 pour l'année 2005. Ce résultat s'explique à la fois par la croissance continue des concentrations de la plupart des gaz à effet de serre et par l'amélioration des estimations du FR des aérosols conduisant à une atténuation de leur effet net de refroidissement (FR négatif); {8.5}
- Le FR dû aux émissions des gaz à effet de serre au mélange homogène (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O et hydrocarbures halogénés) en 2011 par rapport à 1750 est de 3,00 [2,22 à 3,78] W m<sup>-2</sup> (voir figure RID.5). Le FR dû aux changements de concentration de ces gaz est de 2,83 [2,26 à 3,40] W m<sup>-2</sup>; {8.5}
- À elles seules, les émissions de CO<sub>2</sub> ont entraîné un FR de 1,68 [1,33 à 2,03] W m<sup>-2</sup> (voir figure RID.5). Si l'on inclut les émissions d'autres sources contenant du carbone, qui ont également contribué à l'augmentation des concentrations de CO<sub>2</sub>, on obtient un FR du CO<sub>2</sub> de 1,82 [1,46 à 2,18] W m<sup>-2</sup>; {8.3, 8.5}
- À elles seules, les émissions de CH<sub>4</sub> ont entraîné un FR de 0,97 [0,74 à 1,20] W m<sup>-2</sup> (voir figure RID.5). Ce résultat est nettement plus important que l'estimation basée sur la concentration, soit 0,48 [0,38 à 0,58] W m<sup>-2</sup> (inchangée par rapport au RE4). Cette différence dans les estimations s'explique par les changements de concentration d'ozone et de vapeur d'eau stratosphérique dus aux émissions de CH<sub>4</sub> ainsi qu'aux autres émissions influant indirectement sur le CH<sub>4</sub>; {8.3, 8.5}
- Les émissions d'hydrocarbures halogénés qui contribuent à l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique ont entraîné un FR net positif de 0,18 [0,01 à 0,35] W m<sup>-2</sup> (voir figure RID.5). Leur propre FR positif a dépassé le FR négatif dû à l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique qu'elles ont provoqué. Le FR de tous les hydrocarbures halogénés est semblable à la valeur donnée dans le RE4, avec une réduction du FR des CFC compensée par une augmentation due à plusieurs autres produits de substitution; {8.3, 8.5}
- Les émissions de gaz à courte durée de vie contribuent au FR anthropique total. Il est *quasiment certain* que les émissions de monoxyde de carbone (CO) ont entraîné un FR positif, tandis qu'il est *probable* que les émissions d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) ont provoqué un FR net négatif (voir figure RID.5); {8.3, 8.5}

<sup>14</sup> La force de ces facteurs est quantifiée sous forme d'un forçage radiatif (FR) en watts par mètre carré (W m<sup>-2</sup>) comme dans les précédentes évaluations du GIEC. Le FR est un changement de flux énergétique causé par un facteur; il est calculé à la tropopause ou au-dessus de l'atmosphère. Selon le concept de FR utilisé habituellement dans les précédents rapports du GIEC, toutes les conditions à la surface et dans la troposphère sont fixes. Pour le calcul du FR concernant les gaz à effet de serre au mélange homogène et les aérosols, dans le présent rapport, les variables physiques, à l'exception de l'océan et de la banquise, peuvent réagir aux perturbations avec des ajustements rapides. Le forçage résultant est dénommé forçage radiatif effectif (FRE) dans le rapport complet. Ce changement reflète les progrès scientifiques accomplis depuis les précédentes évaluations et se traduit par une indication plus fiable de la réponse thermique finale de ces facteurs. En ce qui concerne tous les facteurs autres que les gaz à effet de serre au mélange homogène et les aérosols, les ajustements rapides sont moins bien caractérisés et considérés comme faibles, et dans ce cas le FR habituel est utilisé. {8.1}

<sup>15</sup> C'est l'approche qui avait été adoptée pour présenter le FR dans le Résumé à l'intention des décideurs du RE4.

- Le FR total de l'effet des aérosols dans l'atmosphère, qui inclut les ajustements des nuages dus aux aérosols, est de  $-0,9$  [ $-1,9$  à  $-0,1$ ]  $W m^{-2}$  (*degré de confiance moyen*); il résulte d'un forçage négatif de la plupart des aérosols et d'une contribution positive due à l'absorption du rayonnement solaire par les carbones suies. On peut affirmer, avec un *degré de confiance élevé*, que les aérosols et leurs interactions avec les nuages ont contrebalancé une partie importante du forçage mondial moyen dû aux gaz à effet de serre au mélange homogène. Ils continuent à contribuer à la plus grande part des incertitudes dans l'estimation du FR total; {7.5, 8.3, 8.5}
- Le forçage résultant d'aérosols volcaniques stratosphériques peut avoir une incidence importante sur le climat pendant quelques années suivant les éruptions volcaniques. Plusieurs éruptions de faible importance ont entraîné un FR de  $-0,11$  [ $-0,15$  à  $-0,08$ ]  $W m^{-2}$  pendant la période 2008-2011, ce qui est approximativement le double par rapport au forçage volcanique de la période 1999-2002; {8.4}
- Le FR dû aux changements concernant le rayonnement solaire est estimé à  $0,05$  [ $0,00$  à  $0,10$ ]  $W m^{-2}$  (voir figure RID.5). Les observations satellitaires relatives aux changements du rayonnement solaire total de 1978 à 2011 indiquent que le dernier minimum solaire était inférieur aux deux précédents. Cela induit un FR de  $-0,04$  [ $-0,08$  à  $0,00$ ]  $W m^{-2}$  entre le minimum le plus récent en 2008 et le minimum de 1986; {8.4}
- Le FR total dû aux changements du rayonnement solaire et aux aérosols stratosphériques d'origine volcanique n'a contribué que faiblement au FR net au cours du dernier siècle, à l'exception de brèves périodes suivant de fortes éruptions volcaniques. {8.5}



**Figure RID.5** | Estimations du forçage radiatif en 2011 par rapport à 1750 et incertitudes agrégées associées concernant les principaux facteurs du changement climatique. Les valeurs sont des moyennes du forçage radiatif global (FR<sup>14</sup>), réparties selon les composés émis ou les processus qui aboutissent à une combinaison de facteurs. Les meilleures estimations du forçage radiatif net sont présentées sous la forme d'un losange noir avec les intervalles d'incertitude correspondants; les valeurs numériques sont fournies sur la droite de la figure de même que le degré de confiance (TÉ – très élevé, É - élevé, M - moyen, F - faible, TF – très faible). Le FR des carbones suies inclut le forçage de l'albédo induit par la présence de carbone suie sur la neige ou la glace. Les faibles forçages dus aux traînées de condensation ( $0,05 W m^{-2}$ , incluant les cirrus produits par ces traînées) aux HFC, aux PFC et aux SF<sub>6</sub> (total  $0,03 W m^{-2}$ ) ne sont pas présentés. Il est possible d'obtenir les FR des gaz basés sur leurs concentrations en faisant la somme des bandes de même couleur. Le forçage des volcans n'est pas inclus en raison de sa nature épisodique qui rend difficile sa comparaison aux autres mécanismes de forçage. Le forçage radiatif anthropique total est indiqué pour trois années différentes par rapport à 1750. Pour obtenir davantage de détails techniques, y compris les intervalles d'incertitude associés aux différentes composantes et aux différents processus, voir les annexes du Résumé technique. {8.5; figures 8.14 à 8.18; figures RT.6 et RT.7}

## D. Compréhension du système climatique et de ses changements récents

La compréhension des changements récents concernant le système climatique se fonde à la fois sur les observations, l'étude des processus de rétroaction et les simulations par des modèles. Pour évaluer la capacité des modèles climatiques à simuler les changements récents, il faut prendre en compte l'état de toutes les composantes modélisées du système climatique au début de la simulation ainsi que les forçages naturels et anthropiques utilisés pour effectuer cette simulation. Par comparaison au RE4, des observations plus détaillées sur des durées plus longues et l'amélioration des modèles climatiques permettent désormais d'attribuer les changements détectés à l'influence de l'homme dans un plus grand nombre de composantes du système climatique.

**L'influence de l'homme sur le système climatique est clairement établie, et ce, sur la base des données concernant l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, le forçage radiatif positif, le réchauffement observé et la compréhension du système climatique. {2-14}**

### D.1 Évaluation des modèles climatiques

**Depuis la publication du quatrième Rapport d'évaluation, les modèles climatiques ont progressé. Les modèles reproduisent les structures spatiales et tendances de température en surface observées à l'échelle des continents sur de nombreuses décennies, y compris le réchauffement relativement rapide observé depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle et le refroidissement suivant immédiatement les éruptions volcaniques majeures (degré de confiance très élevé). {9.4, 9.6, 9.8}**

- Les simulations climatiques de longue durée issues de modèles montrent une tendance de la moyenne de la température de la surface du globe entre 1951 et 2012 qui est en accord avec les tendances observées (*degré de confiance très élevé*). Il existe, cependant, des différences entre les tendances simulées et observées sur des durées courtes, de l'ordre de 10 à 15 ans (par exemple 1998-2012); {9.4, encadré 9.2}
- La réduction observée de la tendance du réchauffement en surface sur la période 1998-2012, par rapport à celle observée sur la période 1951-2012, est due à parts à peu près égales à une réduction de la tendance du forçage radiatif et à une contribution de la variabilité interne allant dans le sens d'un refroidissement, dont une possible redistribution de la chaleur au sein de l'océan (*degré de confiance moyen*). La réduction de la tendance du forçage radiatif est principalement due aux éruptions volcaniques et à la dernière phase descendante du cycle solaire de 11 ans. Cependant, le *degré de confiance* avec lequel le rôle de ces changements de forçage radiatif dans la tendance au réchauffement est quantifié est *faible*. La variabilité naturelle interne décennale explique une part importante de la différence entre les observations et les simulations (*degré de confiance moyen*); il n'est pas attendu que ces dernières puissent représenter la phase de la variabilité naturelle interne. Des erreurs au niveau des forçages prescrits pourraient également y contribuer ainsi que, pour certains modèles, une surestimation de la réponse liée à l'augmentation du forçage des gaz à effet de serre et autres facteurs anthropiques (dominés par l'effet des aérosols); {9.4, encadré 9.2, 10.3, encadré 10.2, 11.3}
- Aux échelles régionales, la confiance dans la capacité des modèles à simuler la température en surface est moindre que pour les plus grandes échelles. Cependant, la température en surface aux échelles régionales est mieux simulée qu'au moment de la publication du RE4 (*degré de confiance élevé*); {9.4, 9.6}
- L'évaluation des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes a beaucoup progressé depuis la parution du RE4. Sur la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle, les moyennes mondiales simulées concernant les tendances de la fréquence des jours et nuits extrêmement chauds ou froids sont généralement cohérentes avec les observations; {9.5}
- On constate une certaine amélioration dans la simulation des structures spatiales des précipitations à l'échelle des continents, depuis la parution du RE4. Aux échelles régionales, les précipitations ne sont pas aussi bien simulées et les évaluations restent difficiles en raison des incertitudes observationnelles; {9.4, 9.6}
- Certains phénomènes climatiques importants sont maintenant mieux reproduits par les modèles. Les statistiques des moussons et de l'ENSO (El Niño-Oscillation australe) sont mieux représentées dans les simulations multimodèles depuis la parution du RE4 (*degré élevé de confiance*); {9.5}

- Les modèles climatiques incluent désormais davantage de processus décrivant les nuages et les aérosols, et leurs interactions, qu'au moment de la publication du RE4, mais le *degré de confiance* dans la représentation et la quantification de ces processus dans les modèles reste *faible*; {7.3, 7.6, 9.4, 9.7}
- Il existe des éléments robustes indiquant que la tendance à la diminution de l'étendue de la banquise d'été de l'Arctique depuis 1979 est désormais reproduite par plus de modèles qu'au moment de la publication du RE4. Environ un quart des modèles simulent une tendance aussi prononcée ou plus prononcée que la tendance indiquée par les observations. La plupart des modèles simulent une tendance légèrement décroissante de l'étendue de la banquise en Antarctique, mais avec une forte dispersion entre modèles, alors que la tendance est légèrement positive dans les observations; {9.4}
- De nombreux modèles reproduisent les changements observés de contenu thermique de l'océan superficiel (0-700 m) entre 1961 et 2005 (*degré de confiance élevé*), l'évolution temporelle de la moyenne multimodèle se trouvant dans la plage des estimations observationnelles disponibles pour la majeure partie de cette période; {9.4}
- Les modèles de climat incluant le cycle du carbone (modèles de système Terre) simulent les grandes structures des flux de CO<sub>2</sub> échangés entre l'océan et atmosphère, à savoir un dégazage dans les tropiques et une absorption dans les moyennes et hautes latitudes. Pour la majorité de ces modèles, l'activité des puits de carbone océaniques et continentaux vers la fin du XX<sup>e</sup> siècle se situe dans la gamme des estimations observationnelles. {9.4}

## D.2 Quantification des réponses du système climatique

**Effectuées à partir d'observations et de modèles, les études des changements de température, des rétroactions climatiques et des changements que subit le bilan énergétique de la Terre apportent des éléments fiables concernant l'amplitude du réchauffement de la planète en réponse au forçage passé et futur.** {encadré 12.2, encadré 13.1}

- Il est *extrêmement probable* que la rétroaction nette, due aux changements combinés de la vapeur d'eau et des différences entre le réchauffement de l'atmosphère et de la surface, est positive et qu'elle amplifie donc les changements climatiques. Le signe de la rétroaction radiative nette liée à tous les types de nuages combinés est *probablement* positif. L'incertitude quant au signe et à l'amplitude de la rétroaction nuageuse s'explique essentiellement par l'incertitude persistante concernant l'incidence du réchauffement sur les nuages bas; {7.2}
- La sensibilité climatique à l'équilibre quantifie la réponse du système climatique à un forçage radiatif constant sur plusieurs siècles. Elle est définie comme le changement de la température moyenne du globe en surface sous l'effet d'un doublement de la concentration du CO<sub>2</sub> atmosphérique, lorsque l'équilibre est atteint. Il est *probable* que la sensibilité climatique à l'équilibre se situe entre 1,5 et 4,5 °C (*degré de confiance élevé*), *extrêmement improbable* que celle-ci soit inférieure à 1 °C (*degré de confiance élevé*) et *très improbable* que celle-ci soit supérieure à 6 °C (*degré de confiance moyen*)<sup>16</sup>. La limite inférieure de la plage *probable* évaluée est ainsi inférieure aux 2 °C indiqués dans le RE4, mais la limite supérieure reste inchangée. Cette évaluation reflète une meilleure compréhension de la sensibilité climatique, des données d'observation sur une durée plus longue portant sur l'atmosphère et l'océan, et de nouvelles estimations du forçage radiatif; {Résumé technique, Composante thématique 6.1, figure 1; encadré 12.2}
- Le rythme du réchauffement climatique du globe et son amplitude sont déterminés par le forçage radiatif, les rétroactions climatiques et le stockage d'énergie par le système climatique. Les estimations de ces quantités pour les dernières décennies sont cohérentes avec les estimations de la plage *probable* de la sensibilité climatique à l'équilibre, aux incertitudes estimées près, ce qui fournit des éléments importants pour notre compréhension du changement climatique; {encadrés 12.2 et 13.1}
- La réponse climatique transitoire quantifie la réponse du système climatique à une augmentation du forçage radiatif sur des échelles de temps comprises entre la décennie et le siècle. Elle est définie comme le changement de la température moyenne à la surface du globe, lorsque la concentration de CO<sub>2</sub> atmosphérique a doublé dans un scénario d'augmentation de la concentration de 1 % par an. Il est probable que la réponse climatique transitoire se situe entre 1,0 et 2,5 °C (*degré de confiance élevé*) et *extrêmement improbable* qu'elle soit supérieure à 3 °C; {encadré 12.2}

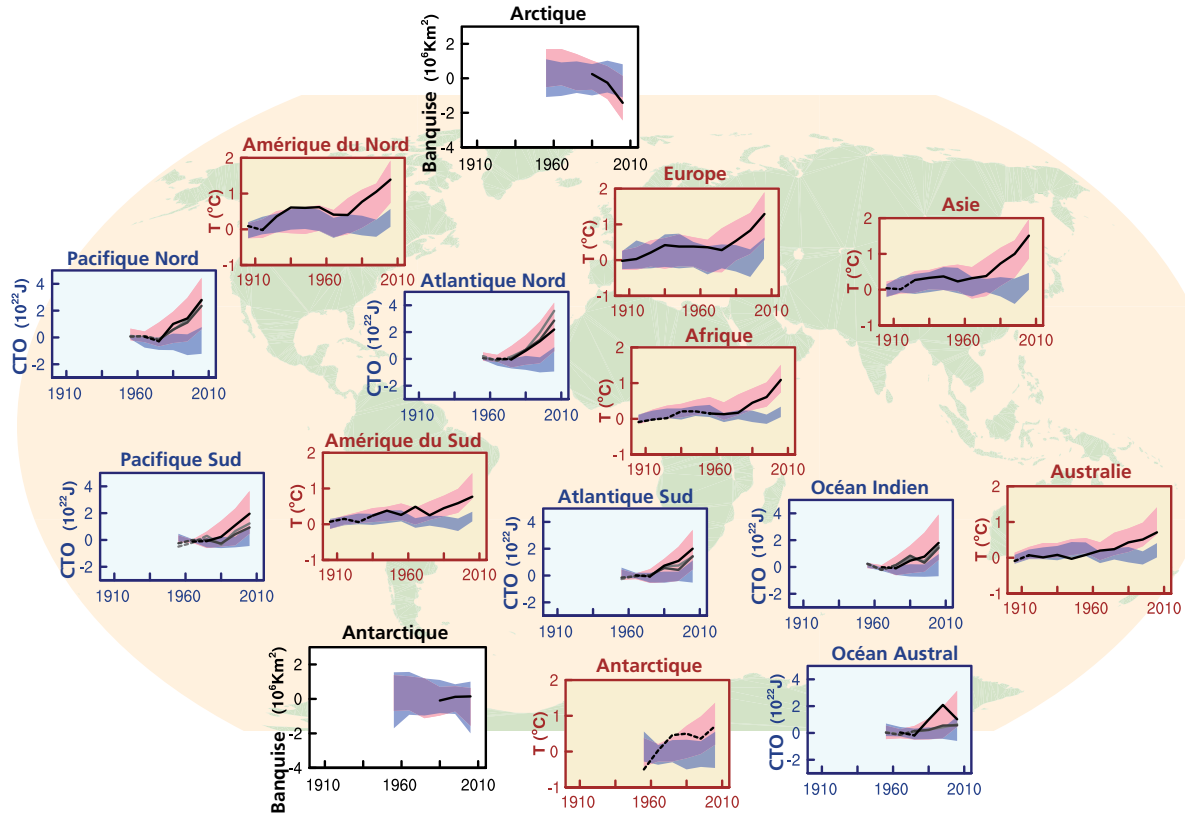
- Une quantité reliée à la précédente est la réponse climatique transitoire aux émissions cumulées de carbone (RCTE). Elle quantifie la réponse transitoire du système climatique à des émissions de carbone cumulées (voir section E.8). La RCTE est définie comme le changement de la température moyenne à la surface du globe pour 1 000 GtC émis dans l'atmosphère. Il est *probable* que la RCTE se situe entre 0,8 et 2,5 °C pour 1 000 GtC et reste valable pour des émissions cumulées pouvant atteindre environ 2 000 GtC jusqu'au pic des températures (voir figure RID.10); {12.5, encadré 12.2}
- Plusieurs métriques peuvent être utilisées pour comparer les contributions des émissions de diverses substances au changement climatique. La métrique et l'horizon temporel les plus appropriés dépendront des aspects du changement climatique considérés comme étant le plus important pour une application particulière. Aucune métrique ne peut comparer précisément toutes les conséquences de diverses émissions et toutes ont leurs limites et incertitudes. Le potentiel de réchauffement global se fonde sur le forçage radiatif cumulé sur une période correspondant à un certain horizon temporel, tandis que le potentiel d'évolution de la température planétaire se fonde sur le changement de la moyenne de la température de surface du globe à un moment donné. Des valeurs réactualisées sont fournies dans le rapport détaillé. {8.7}

### D.3 Détection et attribution des changements climatiques

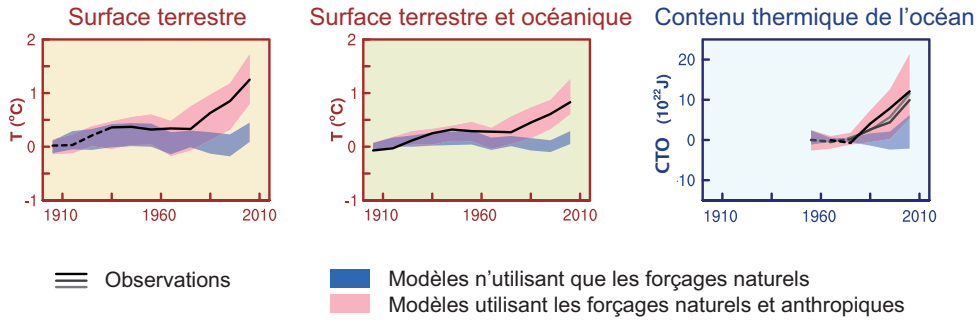
**On détecte l'influence des activités humaines dans le réchauffement de l'atmosphère et de l'océan, dans les changements du cycle global de l'eau, dans le recul des neiges et des glaces, dans l'élévation du niveau moyen mondial des mers et dans la modification de certains extrêmes climatiques (voir figure RID.6 et tableau RID.1). On a gagné en certitude à ce sujet depuis le quatrième Rapport d'évaluation. Il est *extrêmement probable* que l'influence de l'homme est la cause principale du réchauffement observé depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle. {10.3–10.6, 10.9}**

- Il est *extrêmement probable* que plus de la moitié de l'augmentation observée de la température moyenne à la surface du globe entre 1951 et 2010 est due à l'augmentation anthropique des concentrations de gaz à effet de serre et à d'autres forçages anthropiques conjugués. L'estimation la plus probable de la contribution humaine au réchauffement est semblable au réchauffement observé sur cette période; {10.3}
- La contribution des gaz à effet de serre au réchauffement moyen en surface se situe *probablement* entre 0,5 °C et 1,3 °C au cours de la période 1951–2010, les contributions des autres forçages anthropiques, y compris l'effet refroidissant des aérosols, se situant *probablement* entre –0,6 °C et 0,1 °C. La contribution des forçages naturels se situe *probablement* entre –0,1 °C et 0,1 °C, et celle de la variabilité naturelle interne *probablement* entre –0,1 °C et 0,1 °C. La somme de ces contributions estimées est cohérente avec le réchauffement observé d'environ 0,6 à 0,7 °C, au cours cette période; {10.3}
- Dans toutes les régions continentales à l'exception de l'Antarctique, il est *probable* que les forçages anthropiques ont contribué fortement à l'augmentation des températures en surface depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle (voir figure RID.6). En ce qui concerne l'Antarctique, les incertitudes observationnelles importantes ne donnent qu'un *faible degré de confiance* sur le fait que les forçages anthropiques aient contribué au réchauffement observé, dont la moyenne a été calculée à partir des stations disponibles. Il est *probable* que les forçages anthropiques ont contribué au réchauffement très important observé en Arctique depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle; {2.4, 10.3}
- Il est *très probable* que l'influence anthropique, en particulier sur les gaz à effet de serre et l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique, a entraîné une structure de réchauffement troposphérique détectable dans les observations et un refroidissement associé dans la basse stratosphère depuis 1961; {2.4, 9.4, 10.3}
- Il est *très probable* que les forçages anthropiques ont nettement contribué à l'augmentation du contenu thermique de l'océan superficiel (0-700 m) observée depuis les années 1970 (voir figure RID.6). Des éléments suggèrent une influence humaine dans certains bassins océaniques; {3.2, 10.4}
- Il est *probable* que les influences anthropiques affectent le cycle mondial de l'eau depuis 1960. Les influences anthropiques ont contribué aux augmentations du contenu atmosphérique en vapeur d'eau (*degré de confiance moyen*), à des changements de la distribution spatiale des précipitations sur les continents à l'échelle du globe (*degré de confiance moyen*), à l'intensification des épisodes de fortes précipitations sur les régions continentales où les données sont suffisantes (*degré de confiance moyen*) et à des changements de salinité océanique en surface et en subsurface (*très probable*). {2.5, 2.6, 3.3, 7.6, 10.3, 10.4}





Moyennes mondiales



≡ Observations

■ Modèles n'utilisant que les forçages naturels

■ Modèles utilisant les forçages naturels et anthropiques

**Figure RID.6 |** Comparaison des changements climatiques observés et simulés fondée sur des séries chronologiques de trois indicateurs de grande échelle, dans l'atmosphère, la cryosphère et l'océan: évolution des températures de l'air au-dessus des surfaces continentales (cadres jaunes), étendue de la banquise arctique et antarctique de septembre (cadres blancs) et contenu thermique de l'océan (CTO) superficiel par grands bassins (cadres bleus). Les changements moyens à l'échelle du globe sont également indiqués. Les anomalies sont données relativement à 1880-1919 pour les températures de surface, 1960-1980 pour les contenus thermiques des océans et 1979-1999 pour la banquise. Toutes les séries chronologiques sont des moyennes décennales, placées au centre des décennies. En ce qui concerne les cadres relatifs à la température, les observations sont représentées en lignes pointillées si la couverture spatiale des zones examinées est inférieure à 50 %. En ce qui concerne les cadres relatifs au CTO et à la banquise, la ligne continue indique les cas dans lesquels la couverture des données est bonne et de qualité optimale, et la ligne pointillée indique les cas dans lesquels la couverture des données est seulement suffisante, et pour lesquels l'incertitude est par conséquent plus importante. Les résultats des modèles présentés correspondent à des moyennes d'ensemble et plages de dispersion provenant du projet CMIP5 (cinquième phase de l'exercice de comparaison de modèles couplés), les zones ombrées indiquant les intervalles de confiance de 5 à 95 %. Pour obtenir davantage de détails techniques, dont la définition des régions couplés, voir les annexes du Résumé technique. (figure 10.21; figure RT.12)

- Depuis la parution du SREX, les éléments suggérant une influence humaine sur les températures extrêmes sont devenus encore plus probants. Il est désormais *très probable* que l'influence humaine a contribué à des changements observés à l'échelle du globe relatifs à la fréquence et l'intensité des extrêmes journaliers de température depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle, et *probable* que l'influence humaine a plus que doublé la probabilité d'occurrence des vagues de chaleur en certains endroits (voir tableau RID.1); {10.6}
- Les influences anthropiques ont *très probablement* contribué à la fonte de la banquise de l'Arctique depuis 1979. Le *degré de confiance* dans la compréhension scientifique de la légère augmentation observée de l'étendue de la banquise en Antarctique est *faible*, en raison des explications scientifiques incomplètes et contradictoires des causes de ce changement et du *faible degré de confiance* concernant les estimations de la variabilité naturelle interne dans cette région (voir figure RID.6); {10.5}
- Il est *probable* que les influences anthropiques ont contribué au recul des glaciers depuis les années 1960 et à l'augmentation de la perte de masse de la calotte glaciaire du Groenland depuis 1993. En raison du faible niveau de compréhension scientifique, le *degré de confiance* est *faible* quant à l'attribution des causes de la perte de masse observée de la calotte glaciaire de l'Antarctique au cours des deux dernières décennies; {4.3, 10.5}
- Il est *probable* qu'il existe une contribution anthropique au recul du manteau neigeux de printemps observé dans l'hémisphère Nord depuis 1970; {10.5}
- Il est *très probable* que la contribution anthropique à l'élévation du niveau des mers depuis les années 1970 est importante. Ce résultat découle du *degré de confiance élevé* quant à l'influence anthropique sur les deux principales contributions à l'élévation du niveau des mers que sont l'expansion thermique des océans et la perte de masse des glaciers; {10.4., 10.5, 13.3}
- Sur la base de mesures directes du rayonnement solaire total, on peut affirmer avec un *degré de confiance élevé* que les changements de ce rayonnement solaire n'ont pas contribué au réchauffement de la planète au cours de la période allant de 1986 à 2008, période pour laquelle les mesures directes par satellite du rayonnement solaire total sont disponibles. Le cycle de variabilité solaire de 11 ans influe sur les fluctuations climatiques décennales dans certaines régions (*degré de confiance moyen*). Aucun lien robuste entre les changements de rayonnement cosmique et la nébulosité n'a été trouvé. {7.4, 10.3, encadré 10.2}

## E. Changements climatiques mondiaux et régionaux à venir

Les projections des changements au sein du système climatique sont réalisées à l'aide d'une hiérarchie de modèles climatiques qui comprend des modèles climatiques simples, des modèles de complexité intermédiaire, des modèles climatiques détaillés et des modèles de système Terre. Ces modèles simulent les changements à partir d'un ensemble de scénarios de forçages anthropiques. Un nouvel ensemble de scénarios, les profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP), a été utilisé pour les nouvelles simulations de modèles climatiques réalisées dans le cadre de la cinquième phase du Projet de comparaison de modèles couplés (CMIP5) du Programme mondial de recherche sur le climat. Dans tous les RCP, les concentrations atmosphériques du CO<sub>2</sub> sont plus élevées en 2100 qu'actuellement, en raison d'une poursuite de l'augmentation du cumul des émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère au cours du XXI<sup>e</sup> siècle (voir encadré RID.1). Dans le présent Résumé à l'intention des décideurs, les projections sont données pour la fin du XXI<sup>e</sup> siècle (2081-2100), relativement à 1986-2005, sauf mention contraire. Pour placer ces projections dans un contexte historique, il est nécessaire de considérer les changements entre différentes périodes. Sur la base de la plus longue série d'observations disponible concernant la température de surface du globe, la variation observée entre la moyenne de la période 1850-1900 et celle de la période de référence du RE5 est de 0,61 [0,55 à 0,67] °C. Cependant, le réchauffement s'est poursuivi après la période de référence du RE5. Ainsi ces chiffres ne sont pas une estimation du réchauffement historique observé jusqu'à présent (voir chapitre 2).

**De nouvelles émissions de gaz à effet de serre impliqueront une poursuite du réchauffement et des changements affectant toutes les composantes du système climatique. Pour limiter le changement climatique, il faudra réduire notablement et durablement les émissions de gaz à effet de serre.** {6, 11-14}

- Les projections pour les prochaines décennies font apparaître des structures de changement climatique semblables à celles projetées plus tard au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, mais avec une amplitude moindre. La variabilité naturelle interne continuera de jouer un rôle majeur sur le climat, en particulier pour le court terme et à l'échelle régionale. Vers le milieu du XXI<sup>e</sup> siècle, l'ampleur des changements projetés dépend fortement du choix du scénario d'émissions (voir encadré RID.1); {11.3, encadré 11.1, annexe I}

- Le changement climatique projeté sur la base des RCP est semblable à celui annoncé dans le RE4, aussi bien pour sa structure que pour son amplitude, en prenant en compte les différences de scénarios. La dispersion des projections pour les RCP les plus intenses est moindre que pour les scénarios analogues utilisés dans le RE4 car, à la différence des scénarios d'émission SRES utilisés dans le RE4, les RCP utilisés dans le RE5 sont définis comme des profils de concentration et donc les incertitudes liées au cycle du carbone affectant les concentrations atmosphériques en CO<sub>2</sub> ne sont pas prises en compte dans les simulations CMIP5 forcées par des concentrations. L'élévation du niveau des mers projetée est plus grande que dans le RE4, principalement en raison d'une amélioration de la modélisation de la contribution des glaces continentales. {11.3, 12.3, 12.4, 13.4, 13.5}

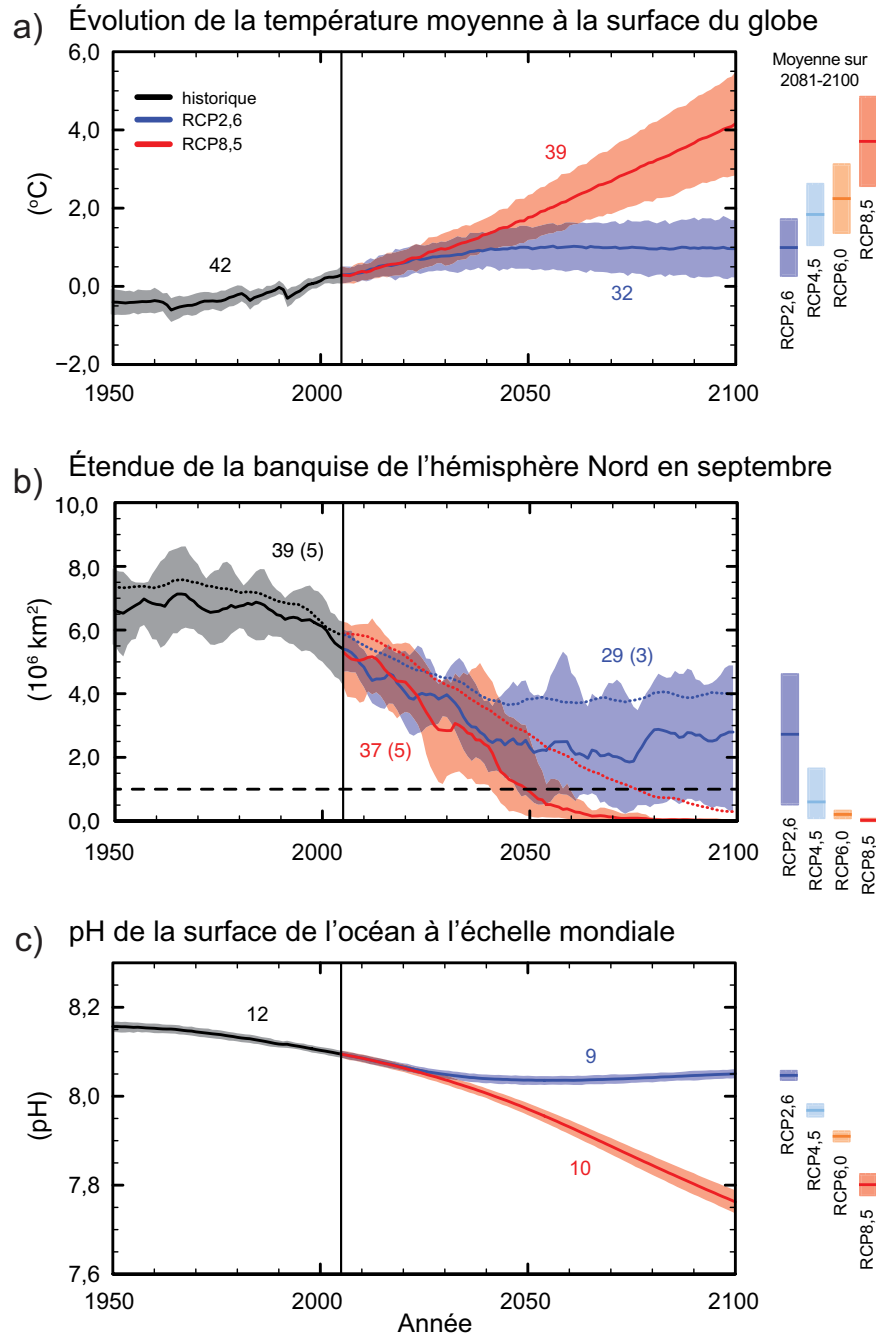
## E.1 L'atmosphère: température

À la fin du XXI<sup>e</sup> siècle, l'augmentation de la température à la surface du globe sera *probablement* supérieure à 1,5 °C par rapport à l'époque allant de 1850 à 1900, pour tous les RCP sauf le RCP2,6. Il est *probable* qu'elle dépassera 2 °C selon les RCP6,0 et RCP8,5, et il est *plus probable qu'improbable* qu'elle dépassera 2 °C selon le RCP4,5. Dans tous les RCP envisagés à l'exception du RCP2,6, le réchauffement se poursuivra après 2100. Il continuera à présenter une variabilité interannuelle à décennale et ne sera pas uniforme d'une région à l'autre (voir figures RID 7 et RID.8). {11.3, 12.3, 12.4, 14.8}

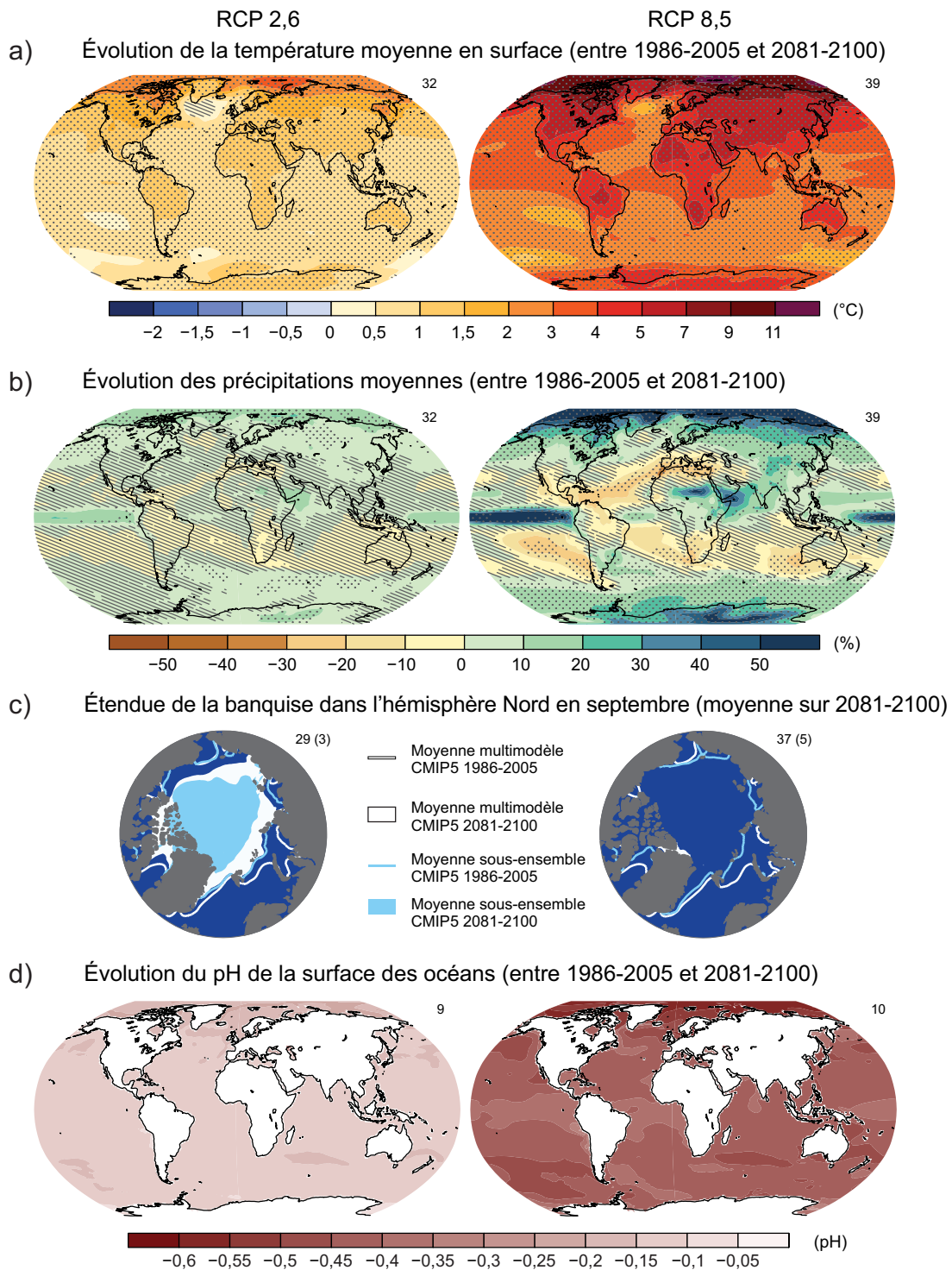
- Le changement de la température moyenne à la surface du globe pour la période 2016–2035 relativement à 1986–2005 sera *probablement* compris entre 0,3 °C et 0,7 °C (*degré de confiance moyen*). Cette conclusion s'appuie sur de nombreux éléments et prend pour hypothèse qu'aucune éruption volcanique intense ou changement séculaire de rayonnement solaire n'aura lieu. Il est attendu que les augmentations des températures moyennes saisonnières et annuelles rapportées à la variabilité naturelle interne soient plus importantes dans les régions tropicales et subtropicales que dans les moyennes latitudes (*degré de confiance élevé*); {11.3}
- L'augmentation des températures moyennes à la surface du globe pour la période 2081–2100, relativement à 1986–2005, sera *probablement* dans les plages calculées à partir des simulations CMIP5 issues de modèles forcés par des concentrations, c.-à-d. 0,3 °C à 1,7 °C (RCP2,6), 1,1 °C à 2,6 °C (RCP4,5), 1,4 °C à 3,1 °C (RCP6,0) et 2,6 °C à 4,8 °C (RCP8,5). L'Arctique se réchauffera plus rapidement que l'ensemble du globe et le réchauffement moyen sera plus important à la surface des continents qu'à la surface des océans (*degré de confiance très élevé*) (voir figure RID.7 et RID.8, et tableau RID.2); {12.4, 14.8}
- En prenant comme référence la période 1850-1900, selon les projections, l'augmentation de température vers la fin du XXI<sup>e</sup> siècle dépassera *probablement* 1,5 °C pour les RCP4,5, RCP6,0 et RCP8,5 (*degré de confiance élevé*). Un réchauffement au-delà de 2 °C est *probable* pour RCP6,0 et RCP8,5 (*degré de confiance élevé*), *plus probable qu'improbable* pour RCP4,5 (*degré de confiance élevé*), mais *improbable* pour RCP2,6 (*degré de confiance moyen*). Il est *improbable* que le réchauffement dépasse 4 °C pour les RCP2,6, RCP4,5 et RCP6,0 (*degré de confiance élevé*) et il est *à peu près aussi probable qu'improbable* qu'il dépasse 4 °C pour le RCP8,5 (*degré de confiance moyen*); {12.4}
- Il est *quasiment certain* que, dans la plupart des régions continentales, les extrêmes chauds seront plus nombreux et les extrêmes froids moins nombreux aux échelles quotidienne et saisonnière, à mesure que la température moyenne du globe augmentera. Il est *très probable* que les vagues de chaleur seront plus fréquentes et dureront plus longtemps. Toutefois, des extrêmes froids pourront continuer de se produire occasionnellement en hiver (voir tableau RID.1); {12.4}

## E.2 L'atmosphère: cycle de l'eau

Les changements concernant le cycle mondial de l'eau en réponse au réchauffement au cours du XXI<sup>e</sup> siècle ne seront pas uniformes. Le contraste des précipitations entre régions humides et régions sèches ainsi qu'entre saisons humides et saisons sèches augmentera, bien qu'il puisse exister des exceptions régionales (voir figure RID.8). {12.4, 14.3}



**Figure RID.7 |** Séries chronologiques simulées à partir de plusieurs modèles CMIP5 de 1950 à 2100 pour: a) l'évolution de la température annuelle moyenne du globe en surface par rapport à la période 1986-2005; b) l'étendue de la banquise de l'hémisphère Nord en septembre (moyenne glissante sur 5 ans); c) le pH moyen de la surface de l'océan à l'échelle mondiale. Les séries chronologiques des projections et une mesure de l'incertitude (parties ombrées) sont présentées pour les scénarios RCP2,6 (en bleu) et RCP8,5 (en rouge). Le noir (couleur grise) représente l'évolution historique modélisée à l'aide des forçages historiques reconstruits. Les moyennes et incertitudes associées sur la période 2081-2100 sont fournies pour tous les scénarios RCP sous forme de bandes verticales de couleur. Le nombre de modèles CMIP5 utilisés pour calculer la moyenne multimodèle est indiqué. Pour l'étendue de la banquise (b), la moyenne et l'incertitude (plage minimum-maximum) du sous-ensemble de modèles qui reproduisent le plus fidèlement la moyenne climatologique et l'évolution de la banquise arctique pour la période 1979-2012 sont indiquées en trait plein (nombre de modèles indiqué entre parenthèses). Par souci d'exhaustivité, la moyenne multimodèle CMIP5 est également indiquée par des pointillés. La ligne tiretée horizontale représente des conditions presque sans glace (c'est-à-dire lorsque le minimum annuel de l'étendue de banquise est inférieur à  $10^6$  km<sup>2</sup> pendant au moins cinq années consécutives). Pour obtenir davantage de détails techniques, voir les annexes du Résumé technique. {figures 6.28, 12.5 et 12.28 à 12.31; figures RT.15, RT.17 et RT.20}



**Figure RID.8** | Cartes des moyennes multimodèles CMIP5 pour les scénarios RCP2,6 et RCP8,5 sur la période 2081–2100 pour: a) l'évolution de la température moyenne annuelle en surface, b) l'évolution moyenne en pourcentage des précipitations moyennes annuelles, c) l'étendue de la banquise dans l'hémisphère Nord en septembre et d) l'évolution du pH de la surface des océans. Les changements indiqués dans les cartes (a), (b) et (d) sont relatifs à la période 1986-2005. Le nombre de modèles CMIP5 utilisés pour calculer la moyenne multimodèle figure dans l'angle supérieur droit de chaque image. Pour les cartes (a) et (b), les hachures signalent les régions dans lesquelles la moyenne multimodèle est faible par rapport à la variabilité naturelle interne (c'est-à-dire inférieure à un écart type de la variabilité naturelle interne sur des moyennes de 20 ans) et dans lesquelles 90 % au moins des modèles s'accordent sur le signe du changement (voir encadré 12). Dans les cartes (c), les lignes représentent les moyennes modélisées pour la période 1986-2005; les zones remplies concernent la fin du siècle. La moyenne multimodèle CMIP5 est indiquée en blanc, tandis que la moyenne projetée de l'étendue de banquise du sous-ensemble des modèles (dont le nombre figure entre parenthèses) qui reproduisent le plus fidèlement la moyenne climatologique et l'évolution de la banquise arctique sur la période 1979-2012 est indiquée en bleu clair. Pour obtenir davantage de détails techniques, voir les annexes du Résumé technique. {figures 6.28, 12.1 1, 12.22 et 12.29; figures RT.15, RT.16, RT.17 et RT.20}



- Les changements projetés concernant le cycle de l'eau pour les prochaines décennies font apparaître des structures spatiales à grande échelle semblables à celles de la fin du siècle, avec toutefois une amplitude moins forte. Au cours des prochaines décennies, les changements projetés à l'échelle régionale seront fortement influencés par la variabilité naturelle interne et pourraient subir les effets des émissions anthropiques d'aérosols. {11.3}
- La moyenne annuelle des précipitations augmentera *probablement* dans les hautes latitudes et l'océan Pacifique équatorial d'ici la fin de ce siècle dans le cas du RCP8,5. Dans de nombreuses régions des moyennes latitudes et dans les régions subtropicales arides, les précipitations diminueront *probablement*, tandis que dans de nombreuses régions humides des moyennes latitudes, les précipitations moyennes augmenteront *probablement* d'ici la fin de ce siècle dans le cas du RCP8,5 (voir figure RID.8); {7.6, 12.4, 14.3}
- Les épisodes de précipitations extrêmes deviendront *très probablement* plus intenses et fréquents sur les continents des moyennes latitudes et dans les régions tropicales humides d'ici la fin de ce siècle, en lien avec l'augmentation de la température moyenne en surface (voir tableau RID.1); {7.6, 12.4}
- À l'échelle du globe, il est *probable* que les régions soumises aux régimes de mousson vont s'étendre au cours du XXI<sup>e</sup> siècle. Tandis qu'il est *probable* que les circulations de mousson s'affaiblissent, il est *probable* que les précipitations de mousson s'intensifient, en raison de l'augmentation de l'humidité de l'air. Il est *probable* que les dates du démarrage de la mousson surviennent plus tôt ou ne connaissent pas de changement important. Il est *probable* que les dates de fin de la mousson surviennent plus tard, ce qui se traduira donc par un allongement de la saison de la mousson dans de nombreuses régions; {14.2}
- L'oscillation australe El Niño (ENSO) va rester (*degré de confiance élevé*) le mode de variabilité interannuelle dominant dans le Pacifique tropical (avec des influences à l'échelle du globe) au cours du XXI<sup>e</sup> siècle. En raison d'une augmentation de l'humidité disponible, la variabilité des précipitations liées à l'ENSO, à l'échelle régionale, va *probablement* s'intensifier. Les modulations naturelles de l'amplitude et de la configuration spatiale de l'ENSO sont importantes et le *degré de confiance* concernant leurs changements spécifiques et les phénomènes régionaux associés projetés pour le XXI<sup>e</sup> siècle reste par conséquent *faible*; {5.4, 14.4}

**Tableau RID.2** | Évolution projetée de la moyenne de la température de l'air à la surface du globe et de l'élévation du niveau moyen des mers pour le milieu et la fin du XXI<sup>e</sup> siècle par rapport à la période de référence 1986-2005. {12.4; tableaux 12.2 et 13.5}

		2046–2065		2081–2100	
Scénario		moyenne	plage probable <sup>c</sup>	moyenne	plage probable <sup>d</sup>
Évolution de la température moyenne à la surface du globe (°C) <sup>a</sup>	RCP2,6	1,0	0,4 à 1,6	1,0	0,3 à 1,7
	RCP4,5	1,4	0,9 à 2,0	1,8	1,1 à 2,6
	RCP6,0	1,3	0,8 à 1,8	2,2	1,4 à 3,1
	RCP8,5	2,0	1,4 à 2,6	3,7	2,6 à 4,8
Scénario		moyenne	plage probable <sup>c</sup>	moyenne	plage probable <sup>d</sup>
Élévation du niveau moyen des mers (m) <sup>b</sup>	RCP2,6	0,24	0,17 à 0,32	0,40	0,26 à 0,55
	RCP4,5	0,26	0,19 à 0,33	0,47	0,32 à 0,63
	RCP6,0	0,25	0,18 à 0,32	0,48	0,33 à 0,63
	RCP8,5	0,30	0,22 à 0,38	0,63	0,45 à 0,82

Notes:

<sup>a</sup> Basé sur l'ensemble CMIP5; anomalies calculées par rapport à la période 1986–2005. À l'aide de l'ensemble HadCRUT4 et de son estimation de l'incertitude (intervalle de confiance de 5–95 %), le réchauffement observé pour la période de référence 1986–2005 utilisée pour les projections est de 0,61 [0,55 à 0,67] °C par rapport à 1850–1900 et de 0,11 [0,09 à 0,13] °C par rapport à 1980–1999, soit la période de référence utilisée dans le RE4. Les plages *probables* n'ont pas été évaluées par rapport aux périodes de références précédentes, car en général la littérature ne propose pas de méthode qui permette de combiner les incertitudes des modèles et des observations. L'ajout de changements projetés et observés ne tient compte ni des effets potentiels des erreurs systématiques des modèles à comparer aux observations ni de la variabilité naturelle interne au cours de la période de référence des observations. {2.4.3 ; Tableaux 12.2 et 12.3}

<sup>b</sup> Basée sur 21 modèles CMIP5; anomalies calculées par rapport à la période 1986–2005. Lorsque les résultats de CMIP5 n'étaient pas disponibles pour un MCGAO (modèle de circulation générale océan-atmosphère) et un scénario particuliers, ces résultats étaient estimés de la manière exposée dans le tableau 13.5 au chapitre 13. Les contributions du changement de dynamiques rapides des calottes glaciaires et du stockage anthropique de l'eau dans les terres émergées sont traitées comme ayant des distributions de probabilité uniformes et comme étant en grande partie indépendantes du scénario. Ce traitement n'implique pas que les contributions concernées ne dépendront pas du scénario suivi, mais seulement que l'état actuel des connaissances ne permet pas une évaluation quantitative de cette dépendance. En l'état actuel des connaissances, seul l'effondrement de secteurs marins de la calotte glaciaire de l'Antarctique, si celui-ci était provoqué, pourrait faire monter de manière importante le niveau moyen de mers au-dessus de la plage *probable* au cours du XXI<sup>e</sup> siècle. On peut affirmer avec un *degré de confiance moyen* que cette contribution supplémentaire ne représenterait pas une augmentation du niveau des mers supérieure à plusieurs dixièmes de mètre au cours du XXI<sup>e</sup> siècle.

<sup>c</sup> Calculées à partir des projections comme étant des plages de 5–95 % de l'ensemble des modèles. On évalue ensuite ces plages comme étant des plages *probables* après avoir pris en compte les incertitudes supplémentaires ou les différents niveaux de confiance dans les modèles. Pour les projections du changement de la température moyenne à la surface du globe en 2046–2065, le *degré de confiance* est *moyen*, car la variabilité naturelle interne et les incertitudes concernant le forçage des gaz sans effet de serre et la réponse de la température sont relativement plus importantes que pour la période 2081–2100. Les plages *probables* pour 2046–2065 ne prennent pas en compte l'influence possible des facteurs qui causent des projections de la température moyenne à la surface du globe à court terme (2016–2035) inférieures aux plages de 5–95 % de l'ensemble des modèles, car l'influence de ces facteurs sur les projections à long terme n'a pas pu être quantifiée en raison de l'insuffisance des connaissances scientifiques. {11.3}

<sup>d</sup> Calculées à partir des projections comme étant des plages de 5–95 % de l'ensemble des modèles. On évalue ensuite ces plages comme étant des plages *probables* après avoir pris en compte les incertitudes supplémentaires ou les différents niveaux de confiance dans les modèles. En ce qui concerne les projections de l'élévation du niveau moyen des mers, le *degré de confiance* est *moyen* pour les deux horizons temporels.



### E.3 L'atmosphère: qualité de l'air

- La gamme des projections de qualité de l'air (ozone et PM<sub>2.5</sub><sup>17</sup> dans les basses couches atmosphériques) est essentiellement déterminée par les émissions (dont le CH<sub>4</sub>), plutôt que par le changement climatique physique (*degré de confiance moyen*). On peut affirmer avec un *degré de confiance élevé* qu'en moyenne globale, le réchauffement diminue la concentration de fond de l'ozone en surface. Des concentrations élevées en CH<sub>4</sub> (RCP8,5) peuvent retarder cette diminution, ce qui augmente la concentration de fond de l'ozone d'environ 8 ppb (soit 25 % des niveaux actuels) en moyenne vers l'année 2100, relativement aux scénarios à faibles changements de CH<sub>4</sub> (RCP4,5 et RCP6,0) (*degré de confiance élevé*); {11.3}
- Des éléments issus des observations et de la modélisation indiquent que, toutes choses égales par ailleurs, des températures en surface localement élevées dans des régions polluées déclencheront des rétroactions chimiques régionales et des émissions qui augmenteront les pics de concentration d'ozone et de PM<sub>2.5</sub> (*degré de confiance moyen*). Pour les PM<sub>2.5</sub>, le changement climatique pourrait altérer les sources naturelles d'aérosols, ainsi que le lessivage des aérosols par les précipitations, mais aucun degré de confiance n'est fourni quant à l'incidence du changement climatique sur la distribution des PM<sub>2.5</sub>. {11.3}

### E.4 L'océan

**À l'échelle mondiale, l'océan continuera à se réchauffer au cours du XXI<sup>e</sup> siècle. De la chaleur sera absorbée à la surface et pénétrera jusqu'à l'océan profond, perturbant la circulation océanique.** {11.3, 12.4}

- D'après les projections, le signal de réchauffement le plus fort concernera l'océan superficiel des régions tropicales et des régions subtropicales de l'hémisphère Nord. Plus en profondeur, le réchauffement sera le plus prononcé dans l'océan Austral (*degré de confiance élevé*). Les estimations les plus probables du réchauffement de l'océan sur les cent premiers mètres sont d'environ 0,6 °C (RCP2,6) à 2,0 °C (RCP8,5) et d'environ 0,3 °C (RCP2,6) à 0,6 °C (RCP8,5) à une profondeur d'environ 1 000 m vers la fin du XXI<sup>e</sup> siècle; {12.4, 14.3}
- Il est *très probable* que la circulation méridienne océanique de retournement de l'Atlantique (AMOC) va s'affaiblir au cours du XXI<sup>e</sup> siècle. Les estimations les plus probables et les plages d'incertitude<sup>18</sup> pour le déclin de l'AMOC obtenus à partir de CMIP5 sont de 11 % (1 à 24 %) pour RCP2,6 et de 34 % (12 à 54 %) pour RCP8,5. Il est *probable* qu'il y aura un déclin de l'AMOC vers 2050. Toutefois, l'AMOC pourrait augmenter au cours de certaines décennies en raison de l'importante variabilité naturelle interne; {11.3, 12.4}
- Selon les scénarios pris en compte, il est *très improbable* que l'AMOC subisse une transition brutale ou s'effondre au cours du XXI<sup>e</sup> siècle. Le *degré de confiance* est *faible* en ce qui concerne l'évaluation de l'évolution de l'AMOC après le XXI<sup>e</sup> siècle, en raison du nombre limité d'analyses et du caractère ambigu des résultats. Cependant, un effondrement après le XXI<sup>e</sup> siècle en raison d'un réchauffement important et prolongé ne peut être exclu. {12.5}

### E.5 La cryosphère

**Il est très probable qu'au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, l'étendue et l'épaisseur de la banquise arctique continueront à diminuer, de même que l'étendue du manteau neigeux de l'hémisphère Nord au printemps, au fur et à mesure de l'augmentation de la température moyenne à la surface du globe. À l'échelle mondiale, les glaciers continueront de perdre de leur volume.** {12.4, 13.4}

- Les moyennes multimodèles des projections pour la fin du XXI<sup>e</sup> siècle indiquent que l'étendue de la banquise diminuera quel que soit le mois de l'année. Pour septembre, la diminution est comprise entre 43 % pour le RCP2,6 et 94 % pour le RCP8,5. Pour février, elle est comprise entre 8 % pour le RCP2,6 et 34 % pour le RCP8,5 (*degré de confiance moyen*) (voir figures RID.7 et RID.8); {12.4}

<sup>17</sup> PM<sub>2.5</sub> fait référence à des particules de matière dont le diamètre est inférieur à 2,5 micromètres, une mesure de la concentration atmosphérique en aérosols.

<sup>18</sup> Les intervalles donnés dans ce paragraphe correspondent à la dispersion des modèles CMIP5.

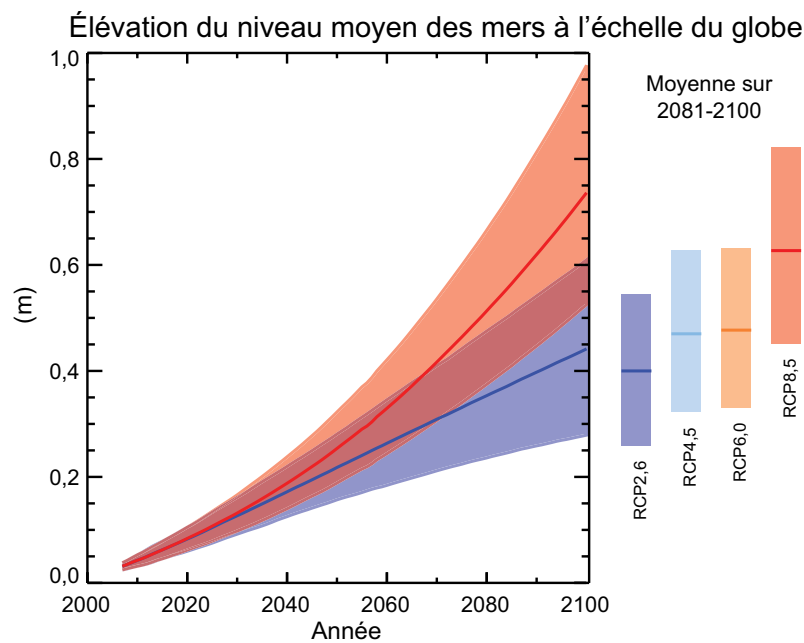
- Selon une évaluation d'un sous-ensemble de modèles qui reproduisent le plus fidèlement la moyenne climatologique et la tendance de l'étendue de la banquise arctique sur la période 1979-2012, un océan Arctique presque sans glace<sup>19</sup> en septembre avant le milieu du siècle est *probable* d'après le RCP8,5 (*degré de confiance moyen*) (voir figures RID.7 et RID.8). Une projection de la date, au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, à partir de laquelle l'Arctique pourrait être presque sans banquise en septembre ne peut pas être effectuée avec confiance pour les autres scénarios; {11.3, 12.4, 12.5}
- En Antarctique, les projections pour la fin du XXI<sup>e</sup> siècle font état d'une diminution de l'étendue et du volume de la banquise, avec un *faible degré de confiance*, en même temps qu'augmentera la température moyenne à la surface du globe; {12.4}
- Les projections pour la fin du XXI<sup>e</sup> siècle indiquent que le volume total des glaciers, en excluant les glaciers périphériques de l'Antarctique, diminuera de 15 à 55 % (RCP2,6), et de 35 à 85 % (RCP8,5) (*degré de confiance moyen*); {13.4, 13.5}
- Les projections pour la fin du XXI<sup>e</sup> siècle indiquent que la surface du manteau neigeux de l'hémisphère Nord au printemps diminuera de 7 % (RCP2,6) et de 25 % (RCP8,5) (*degré de confiance moyen*); {12.4}
- Il est *quasiment certain* que l'étendue du pergélisol de surface (jusqu'à 3,5 m de profondeur) diminuera dans les hautes latitudes de l'hémisphère Nord, au fur et à mesure que la température moyenne à la surface du globe augmentera. Vers la fin du XXI<sup>e</sup> siècle, la superficie du pergélisol de surface diminuera, selon les projections, de 37 % (RCP2,6) à 81 % (RCP8,5) (*degré de confiance moyen*). {12.4}

## E.6 Le niveau des mers

**Le niveau moyen mondial des mers continuera à s'élever au cours du XXI<sup>e</sup> siècle (voir figure RID.9). Selon tous les RCP, il est très probable que cette élévation se produira à un rythme plus rapide que celui observé entre 1971 et 2010, en raison du réchauffement accru de l'océan et de l'augmentation de perte de masse des glaciers et des calottes glaciaires. {13.3-13.5}**

- Le degré de confiance dans les projections du niveau moyen des mers a augmenté depuis la parution du RE4, grâce à une meilleure compréhension des composantes du niveau des mers, une meilleure cohérence entre les observations et les modèles basés sur des processus, et la prise en compte des changements de la dynamique des calottes glaciaires; {13.3-13.5}
- L'élévation moyenne du niveau des mers pour la période 2081–2100 par rapport à 1986-2005 sera *probablement* comprise entre 0,26 et 0,55 m pour le RCP2,6, entre 0,32 et 0,63 m pour le RCP4,5, entre 0,33 et 0,63 m pour le RCP6,0 et entre 0,45 et 0,82 m pour le RCP8,5 (*degré de confiance moyen*). Pour 2100, selon le RCP8,5, l'élévation du niveau des mers est comprise entre 0,52 et 0,98 m, avec un rythme moyen de 8 à 15 mm an<sup>-1</sup> (*degré de confiance moyen*). Ces intervalles proviennent des projections climatiques CMIP5 combinées à des modèles basés sur les processus ainsi que de l'évaluation des publications scientifiques portant sur la contribution des glaciers et des calottes glaciaires (voir figure RID.9 et tableau RID.2); {13.5}
- Dans les RCP, la dilatation contribue à hauteur de 30 à 55 % de la hausse totale du niveau des mers, tandis que la contribution des glaciers est de 15 à 35 %. L'augmentation de la fonte superficielle de la calotte du Groenland dominera l'augmentation des précipitations neigeuses, entraînant une contribution positive au niveau futur des mers (*degré de confiance élevé*). Sur la calotte de l'Antarctique, la fonte en surface restera faible et les précipitations neigeuses augmenteront (*degré de confiance moyen*), entraînant une contribution négative au niveau futur des mers en raison des changements du bilan de masse en surface. Les changements d'écoulement de la glace des deux calottes glaciaires contribueront probablement à hauteur de 0,03 à 0,20 m d'ici 2081–2100 (*degré de confiance moyen*); {13.3-13.5}
- D'après les connaissances actuelles, seul l'effondrement des parties marines de la calotte glaciaire de l'Antarctique, s'il se déclençait, pourrait entraîner une hausse du niveau des mers nettement supérieure à l'intervalle probable pour le XXI<sup>e</sup> siècle. Cependant, cette contribution dépasserait pas quelques dixièmes de mètre d'élévation du niveau des mers au cours du XXI<sup>e</sup> siècle (*degré de confiance moyen*). {13.4, 13.5}

<sup>19</sup> On considère qu'il n'y a presque pas de glace dans l'océan Arctique lorsque l'étendue de la banquise est inférieure à 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup> pendant au moins cinq années consécutives.



**Figure RID.9** | Projections de l'évolution du niveau moyen des mers au cours du XXI<sup>e</sup> siècle par rapport à la période 1986-2005, réalisées en combinant les modèles CMIP5 et les modèles basés sur les processus, pour les deux scénarios RCP2,6 et RCP8,5. La plage *probable* estimée est indiquée sous la forme d'une zone de couleur. Les intervalles *probables* estimés pour les moyennes sur la période 2081-2100 pour tous les scénarios RCP sont indiqués sous la forme de bandes verticales de couleur et la valeur médiane correspondante, sous la forme d'une ligne horizontale. Pour obtenir davantage de détails techniques, voir les annexes du Résumé technique. {tableau 13.5, figures 13.10 et 13.11; figures RT.21 et RT.22}

- Les fondements scientifiques de projections plus élevées de l'augmentation du niveau moyen des mers au cours du XXI<sup>e</sup> siècle ont été examinés et il est apparu que l'on dispose actuellement d'éléments insuffisants pour évaluer la probabilité de niveaux spécifiques supérieurs à l'intervalle *probable*. De nombreuses projections du niveau moyen des mers par des modèles semi-empiriques fournissent des chiffres supérieurs à ceux des modèles basés sur des processus (jusqu'à deux fois plus importants), mais il n'existe pas de consensus au sein de la communauté scientifique concernant leur fiabilité et le *degré de confiance* dans leurs projections est donc *faible*; {13.5}
- L'élévation du niveau des mers ne sera pas uniforme. À la fin du XXI<sup>e</sup> siècle, il est *très probable* que le niveau des mers augmentera sur plus de 95 % environ de la surface des océans. Selon les projections, environ 70 % des littoraux du monde vont connaître un changement du niveau des mers proche de l'élévation moyenne, à plus ou moins 20 % près. {13.1, 13.6}

## E.7 Le cycle du carbone et autres cycles biogéochimiques

**Le changement climatique affectera les processus liés au cycle du carbone d'une manière qui amplifiera l'accroissement du CO<sub>2</sub> atmosphérique (*degré de confiance élevé*). Le phénomène d'acidification de l'océan augmentera, puisque celui-ci continuera de piéger du carbone. {6.4}**

- L'absorption de CO<sub>2</sub> anthropique par l'océan va continuer pour les quatre RCP jusqu'en 2100, avec une absorption plus élevée pour les profils évolutifs correspondant aux concentrations les plus élevées (*degré de confiance très élevé*). L'évolution future de l'absorption du carbone par les terres émergées est plus incertaine. Une majorité de modèles suggèrent une absorption continue du carbone par les terres émergées pour tous les RCP, tandis que certains modèles simulent l'inverse, suite aux effets combinés du changement climatique et du changement d'utilisation des terres; {6.4}
- D'après les modèles de système Terre, on peut affirmer, avec un *degré de confiance élevé*, que les rétroactions entre le climat et le cycle du carbone seront positives au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, c.-à-d. que le changement climatique atténuera partiellement l'augmentation des puits de carbone des terres émergées et de l'océan due à l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique. Cela aura pour effet le stockage dans l'atmosphère d'une part plus grande des émissions anthropiques de CO<sub>2</sub>. Une rétroaction positive entre le climat et le cycle du carbone à des échelles allant du siècle au millénaire est corroborée par les observations et la modélisation paléoclimatiques. {6.2, 6.4}

**Tableau RID.3** | Émissions cumulées de CO<sub>2</sub> pour la période 2012-2100 compatibles avec les concentrations atmosphériques simulées pour les RCP par les modèles de système terrestre. {6.4, tableau 6.12, figure RT.19}

Scénario	Émissions cumulées de CO <sub>2</sub> pour 2012-2100 <sup>a</sup>			
	GtC		GtCO <sub>2</sub>	
	Moyenne	Plage	Moyenne	Plage
RCP2,6	270	140 à 410	990	510 à 1 505
RCP4,5	780	595 à 1 005	2 860	2 180 à 3 690
RCP6,0	1 060	840 à 1 250	3 885	3 080 à 4 585
RCP8,5	1 685	1 415 à 1 910	6 180	5 185 à 7 005

Note:

<sup>a</sup> 1 gigatonne de carbone (GtC) = 10<sup>15</sup> grammes de carbone (gC). Cela correspond à 3,667 GtCO<sub>2</sub>.

- Les projections de modèles de système Terre indiquent une augmentation de l'acidification des océans pour tous les RCP. Les intervalles<sup>18</sup> de la baisse correspondante du pH de l'océan de surface vers la fin du XXI<sup>e</sup> siècle sont de 0,06 à 0,07 pour le RCP2,6, de 0,14 à 0,15 pour le RCP4,5, de 0,20 à 0,21 pour le RCP6,0 et de 0,30 à 0,32 pour le RCP8,5 (voir figures RID.7 et RID.8); {6.4}
- Les émissions cumulées<sup>20</sup> de CO<sub>2</sub> pour la période 2012–2100 compatibles avec les concentrations atmosphériques de CO<sub>2</sub> des RCP, obtenues à partir de 15 modèles de système Terre CMIP5 sont comprises<sup>18</sup> entre 140 et 410 GtC pour le RCP2,6, 595 et 1 005 GtC pour le RCP4,5, 840 et 1 250 GtC pour le RCP6,0, et 1 415 et 1 910 GtC pour le RCP8,5 (voir tableau RID.3); {6.4}
- Vers 2050, les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> obtenues à partir de modèles de système Terre pour le RCP2,6 sont plus faibles que les émissions de 1990 (de 14 à 96 %). Vers la fin du XXI<sup>e</sup> siècle, environ la moitié des modèles projettent des émissions légèrement positives, tandis que l'autre moitié des modèles simulent une élimination nette de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère; {6.4, figure RT.19}
- Les estimations du dégazage de CO<sub>2</sub> et de CH<sub>4</sub> vers l'atmosphère provenant de carbone stocké dans des pergélisols en dégel au cours du XXI<sup>e</sup> siècle sont comprises entre 50 et 250 GtC pour le RCP8,5 (*faible degré de confiance*); {6.4}

## E.8 Stabilisation du climat, inertie du changement climatique et irréversibilité

**Le cumul des émissions de CO<sub>2</sub> détermine dans une large mesure la moyenne mondiale du réchauffement en surface vers la fin du XXI<sup>e</sup> siècle et au-delà (voir figure RID.10). La plupart des caractéristiques du changement climatique persisteront pendant de nombreux siècles même si les émissions de CO<sub>2</sub> sont arrêtées. L'inertie du changement climatique est considérable, de l'ordre de plusieurs siècles, et elle est due aux émissions de CO<sub>2</sub> passées, actuelles et futures. {12.5}**

- La relation entre le total des émissions de CO<sub>2</sub> cumulées et la réponse de la moyenne globale de la température de surface est approximativement linéaire (voir figure RID.10). À tout niveau de réchauffement correspond une plage d'émissions de CO<sub>2</sub><sup>21</sup> cumulées; ainsi, des émissions importantes pendant les premières décennies impliqueraient des émissions plus faibles ensuite; {12.5}
- Limiter le réchauffement dû aux seules émissions anthropiques de CO<sub>2</sub> à moins de 2 °C relativement à 1861-1880<sup>22</sup>, avec une probabilité > 33 % , > 50 % et > 66 % nécessitera que les émissions cumulées de toutes les sources anthropiques de CO<sub>2</sub> soient respectivement comprises entre 0 et environ 1 570 GtC (5 760 GtCO<sub>2</sub>), 0 et environ 1 210 GtC (4 440 GtCO<sub>2</sub>) et 0 et environ 1 000 GtC (3 670 GtCO<sub>2</sub>), depuis cette période<sup>23</sup>. Les bornes supérieures de ces estimations sont respectivement réduites à environ 900 GtC (3 300 GtCO<sub>2</sub>), 820 GtC (3 010 GtCO<sub>2</sub>) et 790 GtC (2 900 GtCO<sub>2</sub>), si l'on prend en compte les forçages autres que celui du CO<sub>2</sub> comme dans le RCP2,6. En 2011, le total déjà émis s'élevait à 515 [445 à 585] GtC (1890 [1630 à 2150] GtCO<sub>2</sub>); {12.5}

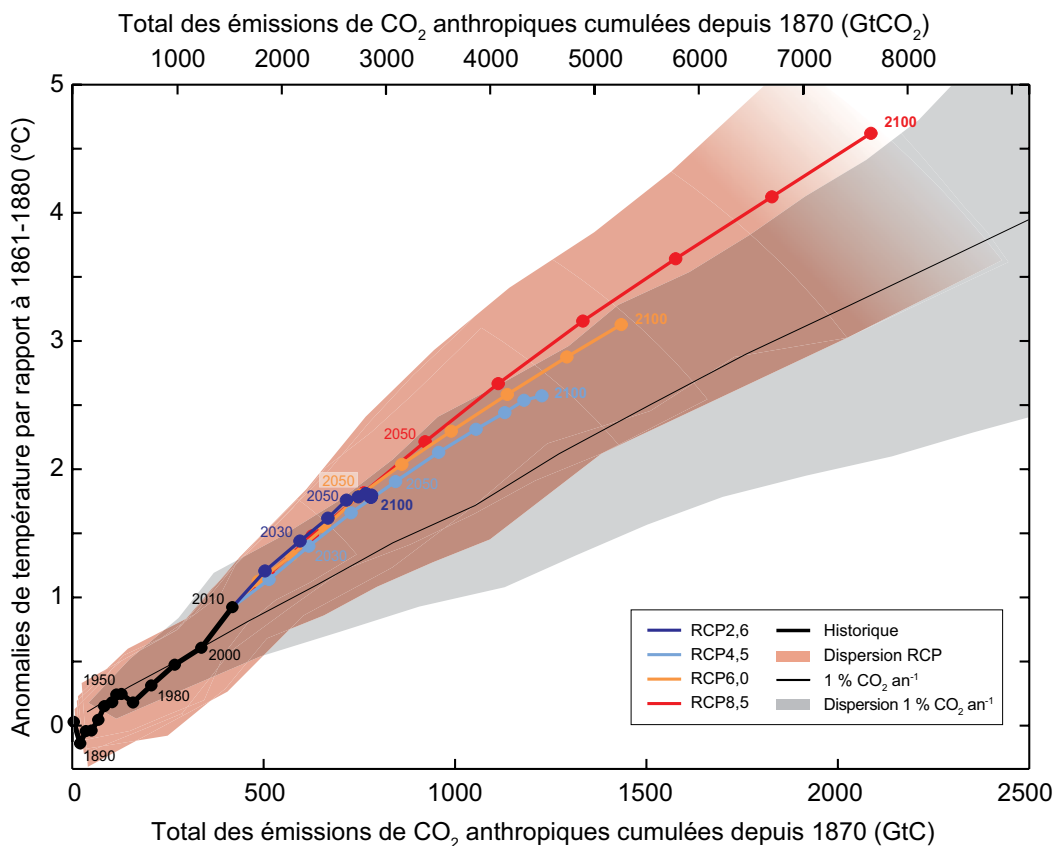
<sup>20</sup> Provenant de l'utilisation de combustibles fossiles, de la production de ciment, de l'industrie et du secteur des déchets.

<sup>21</sup> Pour quantifier cet intervalle d'émissions de CO<sub>2</sub>, il faut prendre en compte les facteurs autres que le CO<sub>2</sub>.

<sup>22</sup> La première période de 20 ans disponible à partir des modèles.

<sup>23</sup> Ceci s'appuie sur l'évaluation de la réponse climatique transitoire aux émissions de carbone cumulées (RCTE) (voir section D.2).

- Une cible de niveau de réchauffement inférieur, ou une probabilité plus élevée de rester en dessous d'une cible donnée demandera des émissions cumulées de CO<sub>2</sub> plus faibles. Si l'on prend en compte l'effet réchauffant de l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre autres que le CO<sub>2</sub>, des réductions d'émissions d'aérosols ou des émissions de gaz à effet de serre provenant des pergélisols, il faudra aussi diminuer les émissions cumulées de CO<sub>2</sub> pour une cible donnée de réchauffement (voir figure RID.10); {12.5}
- Une grande partie du réchauffement climatique d'origine anthropique lié aux émissions de CO<sub>2</sub> est irréversible sur des périodes de plusieurs siècles à plusieurs millénaires, sauf dans le cas d'une élimination nette considérable de CO<sub>2</sub> atmosphérique sur une longue période. Les températures en surface resteront à peu près constantes, mais à des niveaux élevés pendant plusieurs siècles après la fin complète des émissions anthropiques de CO<sub>2</sub>. En raison des longues constantes de temps caractérisant les transferts de chaleur entre la surface et l'océan profond, le réchauffement océanique se poursuivra sur plusieurs siècles. En fonction du scénario, environ 15 à 40 % du CO<sub>2</sub> émis restera dans l'atmosphère pendant plus de 1 000 ans; {encadré 6.1, 12.4, 12.5}
- Il est *quasiment certain* que l'élévation du niveau des mers se poursuivra après 2100, et que la hausse du niveau des mers due à la dilatation thermique se poursuivra durant de nombreux siècles. Les quelques résultats de modèles disponibles au-delà de 2100 indiquent que, par rapport au niveau préindustriel, l'élévation du niveau moyen des mers en 2300 devrait être de moins de 1 m pour un forçage radiatif associé à une concentration de CO<sub>2</sub> passant par un pic avant de diminuer et de rester en dessous de 500 ppm, comme dans le RCP2,6. Pour un forçage radiatif qui correspond à une concentration de CO<sub>2</sub> comprise entre 700 et 1 500 ppm, comme dans le RCP8,5, l'élévation projetée varie de 1 à 3 m (*degré de confiance moyen*). {13.5}



**Figure RID.10** | Augmentation de la température moyenne à la surface du globe en fonction du total des émissions de CO<sub>2</sub> cumulées dans le monde à partir de plusieurs sources de données. Les résultats de différents modèles de climat et cycle du carbone pour chaque scénario RCP jusqu'en 2100 sont représentés par des lignes de couleur et des moyennes décennales (points). Certaines moyennes décennales sont identifiées par souci de clarté (ex.: 2050 indiquant la décennie 2040-2049). Les résultats de modèles sur la période historique (1860-2010) sont indiqués en noir. La zone en couleur représente la dispersion des différents modèles pour les quatre scénarios RCP et s'estompe à mesure que le nombre de modèles disponibles diminue pour RCP8,5. La moyenne et la plage multimodèles simulées par les modèles CMIP5, forcés par une augmentation du CO<sub>2</sub> de 1 % par an (simulations pour 1 % CO<sub>2</sub> an<sup>-1</sup>), sont indiquées par la fine ligne noire et la zone en gris. Pour un niveau spécifique d'émissions cumulées, les simulations d'augmentation du CO<sub>2</sub> de 1 % par an suggèrent un réchauffement inférieur à celles forcées par les scénarios RCP, car ces dernières incluent des forçages additionnels autres que le CO<sub>2</sub>. Les valeurs de la température sont données par rapport à la période de référence 1861-1880 et les émissions, par rapport à 1870. Les moyennes décennales sont reliées par des lignes droites. Pour obtenir davantage de détails techniques, voir les annexes du Résumé technique. {figure 12.45; Résumé technique, Composante thématique 8, figure 1}

- Une élévation plus marquée du niveau des mers pourrait être causée par une perte de masse continue par les calottes glaciaires, et une partie de cette perte de masse pourrait être irréversible. Les données disponibles indiquent qu'un réchauffement continu supérieur à un certain seuil au-dessus des niveaux préindustriels provoquerait la disparition quasi complète de la calotte du Groenland en un millénaire ou plus, ce qui entraînerait une hausse du niveau moyen des mers pouvant atteindre jusqu'à 7 m (*degré de confiance élevé*). Les estimations actuelles indiquent que ce seuil de réchauffement moyen du globe par rapport aux niveaux préindustriels est supérieur à environ 1 °C (*degré de confiance faible*), mais inférieur à environ 4 °C (*degré de confiance moyen*). Une perte de glace soudaine et irréversible liée à une instabilité potentielle des parties marines de la calotte de l'Antarctique est possible, mais les éléments actuellement disponibles et le niveau de compréhension de ces phénomènes sont insuffisants pour une estimation quantitative; {5.8, 13.4, 13.5}
- Des méthodes visant délibérément à contrer le changement climatique, regroupées sous le terme de géo-ingénierie, ont été proposées. Il existe peu d'éléments permettant d'évaluer quantitativement et de manière complète les techniques de gestion du rayonnement solaire (SRM) et d'élimination du dioxyde de carbone (CDR), ainsi que leur incidence sur le système climatique. Les méthodes de type CDR présentent des limitations biogéochimiques et technologiques quant à leur potentiel à grande échelle. Nous ne disposons pas de connaissances suffisantes pour quantifier dans quelle mesure les émissions de CO<sub>2</sub> pourraient être réduites grâce au CDR à l'échelle du siècle. La modélisation fait apparaître que certaines méthodes de SRM, si elles sont réalisables, peuvent compenser significativement une augmentation de la température du globe, mais celles-ci modifieraient également le cycle mondial de l'eau et ne réduiraient pas l'acidification des océans. Si la SRM prenait fin pour une quelconque raison, on peut affirmer, avec un *degré de confiance élevé*, que la température moyenne de la surface du globe augmenterait très rapidement jusqu'à atteindre des valeurs correspondant au forçage dû aux gaz à effet de serre. Les méthodes de CDR et de SRM présentent des effets secondaires indésirables et ont des conséquences à long terme à l'échelle du globe; {6.5, 7.7}

### Encadré RID.1: Profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP)

Les projections du changement climatique établies par le Groupe de travail I du GIEC nécessitent des informations sur les futures émissions ou concentrations de gaz à effet de serre, aérosols et autres facteurs anthropiques. Ces informations sont souvent exprimées sous la forme de différents scénarios d'activités humaines, qui ne sont pas évalués dans le présent rapport. Les scénarios utilisés par le Groupe de travail I sont axés sur les émissions anthropiques et ne prennent pas en compte les évolutions des facteurs naturels, tels que le forçage solaire ou volcanique, ou les émissions naturelles, par exemple de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O.

Pour établir le cinquième Rapport d'évaluation du GIEC, la communauté scientifique a défini un ensemble de quatre nouveaux scénarios, appelés profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP) (voir glossaire). Ces RCP sont identifiés par leur forçage radiatif total approximatif pour l'année 2100 par rapport à 1750: 2,6 W m<sup>-2</sup> pour le RCP2,6; 4,5 W m<sup>-2</sup> pour le RCP4,5; 6,0 W m<sup>-2</sup> pour le RCP6,0 et 8,5 W m<sup>-2</sup> pour le RCP8,5. Pour les résultats de la cinquième phase du projet de comparaison de modèles couplés (CMIP5), ces valeurs doivent être comprises comme purement indicatives, car le forçage climatique résultant de tous les facteurs varie d'un modèle à l'autre, en raison des caractéristiques du modèle et du traitement des espèces à courte durée de vie. Ces quatre RCP contiennent un scénario d'atténuation conduisant à un niveau de forçage très bas (RCP2,6), deux scénarios de stabilisation (RCP4,5 et RCP6,0) et un scénario aux émissions de gaz à effet de serre très élevées (RCP8,5). Les RCP peuvent ainsi représenter toute une gamme de politiques climatiques pour le XXI<sup>e</sup> siècle, par comparaison avec le rapport spécial sur les scénarios d'émissions (SRES), dont les scénarios d'émissions étaient utilisés dans les troisième et quatrième Rapports d'évaluation, et qui ne prévoyait pas de politique climatique. Dans le cas du RCP6,0 et du RCP8,5, le forçage radiatif n'atteint pas son maximum vers 2100; pour RCP2,6, il atteint un maximum puis décline; et pour le RCP4,5, il se stabilise vers 2100. Chaque RCP fournit des données spatialisées de changement d'utilisation des sols et des émissions de polluants atmosphériques par secteurs, et spécifie les concentrations annuelles de gaz à effet de serre et les émissions anthropiques jusqu'en 2100. Les RCP sont basés sur une combinaison de modèles d'évaluation intégrés, de modèles de climat simples, ainsi que sur des modèles de chimie atmosphérique et de cycle du carbone. Alors que les RCP couvrent une large gamme de forçages radiatifs totaux, ils ne couvrent pas complètement la gamme d'émissions qu'on peut trouver dans la littérature, en particulier en ce qui concerne les aérosols.

La plupart des simulations CMIP5 et simulations réalisées par des modèles de système Terre ont été réalisées avec des concentrations de CO<sub>2</sub> prescrites atteignant 421 ppm (RCP2,6), 538 ppm (RCP4,5), 670 ppm (RCP6,0) et 936 ppm (RCP8,5) vers 2100. En incluant également les concentrations prescrites de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O, les concentrations en CO<sub>2</sub> équivalent sont de 475 ppm (RCP2,6), 630 ppm (RCP4,5), 800 ppm (RCP6,0) et 1 313 ppm (RCP8,5). Pour le RCP8,5, des simulations de modèles de système Terre de CMIP5 additionnelles sont réalisées avec des émissions prescrites de CO<sub>2</sub> fournies par les modèles d'évaluation intégrée. Pour tous les RCP, des calculs complémentaires ont été réalisés en utilisant des données actualisées et des modèles de chimie atmosphérique (comprenant la composante chimie atmosphérique et climat du CMIP5), en reprenant les émissions d'espèces chimiquement actives issues des RCP (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, NO<sub>x</sub>, CO, composés organiques volatils non méthaniques). Ces simulations permettent d'étudier les incertitudes relatives aux rétroactions du cycle du carbone et de la chimie atmosphérique.





