



# Consensus Scientifique sur Changement Climatique - Mise à jour GIEC 2013

**Source :**  
GIEC (2013)

**Résumé & Détails:**  
GreenFacts


## Niveau 2 - Détails sur Changement Climatique - Mise à jour GIEC 2013

<b>1.</b>	<b>Comment le GIEC traite-t-il les incertitudes ?</b> .....	<b>3</b>
	<b>Observations</b>	
<b>2.</b>	<b>Quels ont été les changements observés dans le climat dans les derniers siècles ?</b> .....	<b>4</b>
2.1	Comment la température moyenne mondiale terrestre a-t-elle évolué ?.....	4
2.2	Comment ont changé les précipitations et les sécheresses au cours des dernières décennies ?...5	
2.3	La salinité, l'acidité et la teneur en oxygène des océans ont-elles changé ?.....5	
2.4	Comment la couverture de glace de la terre a évolué au cours des dernières décennies ?.....6	
2.5	Le niveau des océans a-t-il changé ?.....6	
2.6	Les événements météorologiques extrêmes ont-ils augmenté au cours des dernières décennies ?.....7	
2.7	Comment les émissions de gaz à effet de serre ont-elles évolué dans les derniers siècles ?.....8	
	<b>Facteurs</b>	
<b>3.</b>	<b>D'où provient le changement climatique ?</b> .....	<b>9</b>
3.1	Qu'est-ce que le forçage radiatif ?.....9	
3.2	Quels sont les facteurs naturels actuels du changement climatique ?.....10	
3.3	Quels sont les facteurs de changement climatique d'origine humaine ?.....10	
3.4	Quel est le rôle des mécanismes de rétroaction dans le changement climatique ?.....12	
	<b>Comprendre</b>	
<b>4.</b>	<b>Comment étudions-nous l'évolution du système climatique ?</b> .....	<b>12</b>
4.1	Modèles, observations et validation.....12	
4.2	Pourquoi l'augmentation de la température planétaire a-t-elle ralenti au cours des 15 dernières années ?.....13	
4.3	Comment les projections des évaluations précédentes se comparent avec les observations présentes ?.....14	
4.4	Comment les océans ont-ils changé ?.....15	
4.5	Les neiges et les glaciers.....15	
4.6	Quels sont les principaux changements climatiques qui pourraient être irréversibles ?.....16	
	<b>Projections</b>	
<b>5.</b>	<b>Quels changements dans le système climatique sont prévus pour l'avenir ?</b> .....	<b>17</b>
5.1	Quels modèles et scénarios ont été utilisés dans cette évaluation du changement climatique ?.....17	
5.2	Comment est projetée l'évolution des émissions de CO2 et celle du cycle du carbone dans le futur ?.....17	
5.3	Comment le climat devrait-il changer à l'avenir ?.....18	
5.4	Une « stabilisation du climat » est-elle possible ?.....21	
5.5	Comment les événements extrêmes seront-ils affectés par le changement climatique ?.....22	
	<b>Incertitudes</b>	
<b>6.</b>	<b>Quelles sont les principales incertitudes concernant le changement climatique ?</b> .....	<b>22</b>
6.1	Quelles sont les principales incertitudes liées à l'observation de changements dans le système climatique ?.....23	
6.2	Quelles sont les principales incertitudes dans les moteurs-clés du changement climatique ?.....24	

- 6.3 Quelle sont les incertitudes clés dans la compréhension des récents changements dans le système climatique ?.....24
- 6.4 Quelles sont les principales incertitudes liées aux projections globales et régionales du changement climatique ?.....25

Ce Dossier est un résumé fidèle du rapport scientifique de consensus produit en 2013 par le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) :  
*"Climate Change 2013: Technical Summary"*

Le Dossier complet est disponible sur : <http://www.greenfacts.org/fr/changement-climatique-re5-bases-scientifiques/>

 Ce document PDF contient le Niveau 2 d'un Dossier GreenFacts. Les Dossiers GreenFacts sont publiés en plusieurs langues sous forme de questions-réponses et présentés selon la structure originale et conviviale de GreenFacts à trois niveaux de détail croissant :

- Chaque question trouve une réponse courte au Niveau 1.
- Ces réponses sont développées en plus amples détails au Niveau 2.
- Le Niveau 3 n'est autre que le document source, le rapport de consensus scientifique reconnu internationalement et fidèlement résumé dans le Niveau 2 et plus encore dans le Niveau 1.

*Tous les Dossiers de GreenFacts en français sont disponibles sur : <http://www.greenfacts.org/fr/>*

## 1. Comment le GIEC traite-t-il les incertitudes ?

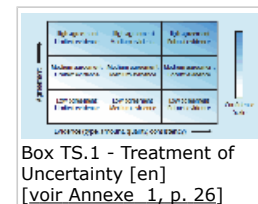
Bien que l'ensemble des connaissances sur le système climatique croisse de plus en plus, tout comme la confiance dans les prévisions, il subsiste encore *beaucoup d'incertitudes*. Le traitement de celles-ci par le GIEC s'est sophistiqué d'un rapport d'évaluation à l'autre mais la croissance rapide et la diversité considérable des données issues de la littérature présentent encore des défis sur ce sujet.

Une partie intégrante de ce 5e rapport d'évaluation est l'utilisation d'un langage spécifique pour qualifier les incertitudes. Le degré de certitude dans les résultats clés de cette évaluation est exprimé en *niveau de confiance* qui est basé sur le type, la quantité, la qualité et la cohérence des données ainsi que sur le degré d'accord entre les études scientifiques considérées.

Le cas échéant, les résultats sont également formulés comme des déclarations de fait sans qualificatifs d'incertitude mais lorsque ceux-ci sont nécessaires, deux paramètres sont utilisés ce présent rapport pour indiquer le degré de certitude sur les résultats clés:

- **La confiance dans la validité de la conclusion**, sur la base du type, de la quantité, de la qualité et de la cohérence des données (*par exemple, les données, la compréhension du mécanisme en cause, la théorie, les modèles, un jugement d'expert*) et le degré d'accord. La confiance est qualitative et reflète les jugements des auteurs.

Dans le diagramme ci-dessus, le *niveau de confiance* augmente vers l'angle supérieur droit comme le suggère la montée en intensité de l'ombrage. Généralement la preuve est plus robuste quand il y a plusieurs lignes cohérentes indépendantes de bonne qualité. {Figure 1.11}



- **Les mesures quantifiées d'incertitude**, sur une conclusion, qui sont exprimées en niveau de probabilité. Les niveaux de probabilité peuvent être utilisés pour exprimer une estimation de la probabilité pour qu'un événement se produise ou bien la probabilité d'un résultat. Les affirmations faites en utilisant l'échelle de probabilité peuvent être fondées sur le déclenchement statistique des analyses de modélisation, des points de vue d'experts, ou d'autres analyses quantitatives.

Les termes suivants ont été utilisés pour indiquer la probabilité estimée:

Quand ils sont utilisés dans le présent résumé, ces termes sont indiqués en *italique*.

**Table 1.2 - Termes utilisés pour parler de la probabilité d'un événement**

Terme*	Probabilité de l'événement
<i>Pratiquement certain</i>	probable à 99–100%
<i>Très probable</i>	probable à 90–100%
<i>Probable</i>	probable à 66–100%
<i>Aussi probable que non</i>	probable à 33–66%
<i>Peu probable</i>	probable à 0–33%
<i>Très peu probable</i>	probable à 0–10%
<i>Exceptionnellement peu probable</i>	probable à 0–1%

\* Des termes additionnels (*extrêmement probable*: probable à 95–100%, *plus probable que non*: >50–100%, et *extrêmement peu probable*: probable à 0–5%) peuvent aussi être utilisés lorsque nécessaire.

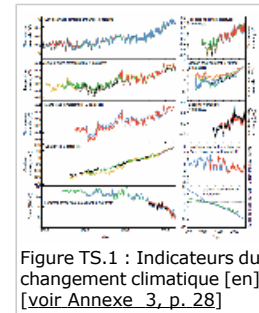
## 2. Quels ont été les changements observés dans le climat dans les derniers siècles ?

### 2.1 Comment la température moyenne mondiale terrestre a-t-elle évolué ?

Il est *certain* que la température de surface moyenne globale de la Terre a augmenté depuis le début de l'enregistrement des températures. Ce réchauffement a été d'environ 0,85 ° C de 1880 à 2012 avec une augmentation d'environ 0,72 ° C de 1951 à 2012. Plus précisément, chacune des trois dernières décennies a été successivement la plus chaude jamais enregistrée. Elles ont aussi *très probablement* été les plus chaudes depuis les 800 dernières années et *probablement* les plus chaudes depuis les 1400 dernières années.

Plusieurs enregistrements indépendants de données concordent pour montrer que les températures de surface à la fois des terres et des océans ont augmenté. Il existe cependant une variabilité importante du taux de réchauffement entre les décennies et le taux de réchauffement au cours des 15 dernières années est plus faible que celui enregistré depuis les années 1950.

Les reconstitutions climatiques montrent des périodes chaudes pendant le Moyen-âge (950-1250) et il est *fort probable* que les températures au cours de ces périodes aient été aussi chaudes que celles de la fin du 20e siècle dans certaines régions. Cependant, ces périodes chaudes étaient régionales et non synchrones, comme l'est le réchauffement actuel.



L'accroissement des villes et l'utilisation accrue des terres peuvent contribuer à des augmentations locales de température mais quand la moyenne mondiale est envisagée, il est *probable* qu'ils n'ont pas contribué pour plus de 10 % à la tendance observée.

Dans la haute atmosphère, il est *pratiquement certain*, que depuis le milieu du 20e siècle, la troposphère (couche basse de l'atmosphère située entre 10-15 km d'altitude) s'est réchauffée et que la stratosphère (couche comprise entre 10 et 15 km et 50-60 km d'altitude) s'est refroidie. C'est une des observations qui suggère que la chaleur est piégée dans la basse atmosphère par l'effet de serre. Il n'existe pas de consensus au sujet de la vitesse à laquelle ce changement a lieu.

Un réchauffement des océans a également été observé au cours du 20e siècle. Que les océans se soient réchauffés est *pratiquement certain* pour les profondeurs jusqu'à 700 m, probable entre 700 et 2000 m, et de 3000 m jusqu'au fond. Cependant, *aucune tendance significative* n'a été observée entre 2000 m et 3000 m de profondeur.

Depuis les années 1970, la planète Terre a été en déséquilibre énergétique, avec plus d'énergie provenant du soleil que d'émission via l'atmosphère. Le réchauffement des océans représente l'essentiel (93 %) de cette augmentation de la capture d'énergie.

La grande variabilité de la circulation atmosphérique entre les années et les décennies rend difficile les conclusions quant aux changements dans des phénomènes tels que l'Oscillation Nord-Atlantique et l'Oscillation australe d'El Niño.

## 2.2 Comment ont changé les précipitations et les sécheresses au cours des dernières décennies ?

A l'échelle mondiale, ce n'est pas clair que des changements aient eu lieu dans les précipitations et la couverture nuageuse, en partie parce que les données sont insuffisantes. L'humidité de la basse atmosphère a *très probablement* augmenté depuis les années 1970, mais il n'est pas clair que les changements de cette augmentation de l'humidité atmosphérique a entraîné des changements dans les précipitations.

Les analyses les plus récentes et les plus complètes ne soutiennent plus le fait que les eaux de ruissellement ont augmenté au niveau mondial au cours du 20e siècle, comme l'avait conclu le rapport d'évaluation de 2007 (AR4).

De nouveaux résultats indiquent également que les tendances mondiales d'augmentation des sécheresses depuis les années 1970 ne sont plus confirmées, comme cela avait été supposé dans les conclusions du Rapport 2007.

## 2.3 La salinité, l'acidité et la teneur en oxygène des océans ont-elles changé ?

Des changements ont été observés dans les caractéristiques des océans au cours des quarante dernières années, y compris la **température**, la **salinité**, le **niveau de la mer**, la **teneur en carbone**, le **pH** et la **teneur en oxygène**. Les tendances observées dans les changements sont *en accord* avec l'évolution observée à la surface des océans (réchauffement, changements de salinité, et une augmentation de la teneur en carbone) en réponse aux changements climatiques et à leur variabilité ainsi qu'à des processus physiques et biogéochimiques océaniques connus, ce qui offre une *grande confiance* dans cette évaluation.

La salinité à la surface des océans est un moteur important de la circulation océanique et elle est directement liée à l'équilibre entre l'évaporation et les précipitations. Il est *très probable* que les tendances régionales ont renforcé les contrastes entre les eaux de surface dans les latitudes moyennes - où l'évaporation est dominante - qui deviennent plus salées, et les eaux de surface dans les régions tropicales et polaires dominées par les précipitations qui sont relativement moins salées. Il est *très probable* que les changements de la salinité observés à la surface et sous la surface des océans sont dus en partie à l'influence humaine.

Il est *très probable* que l'absorption du CO<sub>2</sub> par les océans cause une acidification progressive des océans. Le pH de l'eau de mer a diminué de 0,1 unité depuis le début de l'ère industrielle, ce qui correspond à une augmentation de 26 % de la concentration en ions hydrogène.

Les résultats de laboratoire, de terrain et les études de modélisation ainsi que les enregistrements géologiques indiquent clairement que les écosystèmes marins sont très sensibles à l'augmentation du CO<sub>2</sub> océanique et aux baisses correspondantes du pH et des ions carbonate. Le réchauffement de l'océan amène une réduction de la concentration en oxygène, puisque les eaux chaudes peuvent contenir moins d'oxygène dissous (par effet de solubilité), et que la stratification induite par la température de l'océan conduit à une diminution du transport de l'oxygène dissous depuis la surface vers les eaux profondes (effet de stratification).

## 2.4 Comment la couverture de glace de la terre a évolué au cours des dernières décennies ?

Il est *très probable* que la surface de la banquise (annuelle, pluriannuelle et pérenne) de l'Océan Arctique a diminué au cours de la période 1979-2012. Le taux de diminution annuel est *très probablement* entre 3,5 et 4,1% par décennie. Il est de *moyennement probable* que la diminution des glaces de la banquise de l'Arctique durant la période plus récente (1980-2012) est sans précédent dans les 1450 dernières années.

En revanche, il est *très probable* que l'étendue de la banquise Antarctique ait augmenté à un taux compris entre 1,2 et 1,8 % par décennie entre 1979 et 2012, en raison d'une diminution du pourcentage d'eau libre dans la banquise. Il est *fort probable* qu'il existe de fortes disparités régionales, certaines régions de l'Antarctique montrant une augmentation de la banquise et d'autres une tendance à la diminution. Il est *fort probable* que certaines parties des plates-formes de glace flottantes de l'Antarctique soient en effet l'objet de changements importants.

Il est *très probable* - à quelques rares exceptions régionales près - que les glaciers terrestres du monde entier ont diminué au cours des dernières décennies. Il est *fort probable* que la taille actuelles de certains glaciers soit en décalage par rapport aux conditions climatiques actuelles, indiquant que ces glaciers vont continuer à diminuer dans l'avenir, même sans augmentation de la température.

Plus précisément, il est *très probable* que la calotte glaciaire du Groenland a perdu de la glace au cours des deux dernières décennies. Il est *fort probable* que la calotte glaciaire de l'Antarctique a également perdu de la glace au cours des deux dernières décennies.

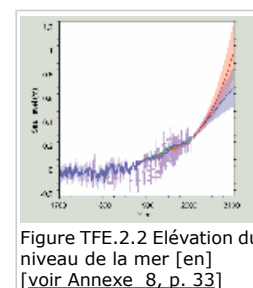
Dans l'hémisphère Nord, il est également *très probable* que la couverture de neige mesurée a diminué, surtout au printemps. Dans l'hémisphère Sud, les éléments de preuve sont trop limités pour déterminer si des changements sont survenus.

La température du pergélisol a augmenté dans la plupart des régions du monde depuis le début des années 1980 (probabilité élevée). Il y a une *grande probabilité* que cette augmentation soit en réaction à une augmentation de la température de l'air et les changements de la périodicité et de l'épaisseur de la couverture neigeuse.

## 2.5 Le niveau des océans a-t-il changé ?

Il existe deux principales contributions à l'évolution du niveau des océans:

1. la dilatation de l'eau de mer lorsqu'elle se réchauffe ;
2. le transfert vers les océans de l'eau actuellement stockée sur les terres, en particulier dans les glaciers et les calottes glaciaires.



Pendant les intervalles chauds du Pliocène moyen (il y a 3,3 à 3 millions d'années), lorsqu'il est *moyennement probable* que les températures moyennes en surface étaient de 2 °C à 3,5 °C plus élevées que lors de la fin de la période pré-industrielle, les éléments de preuve disponibles suggèrent que le niveau moyen de la mer était au-dessus du niveau actuel, mais il est *fort probable* qu'il ne dépassait pas 20 m

au-dessus du niveau actuel. Il semble qu'à cette époque la calotte glaciaire de l'Antarctique ait considérablement fondu et que celle du Groenland avait pratiquement complètement fondu.

Il est *très probable* que le niveau de la mer maximum global moyen au cours de la dernière période interglaciaire (il y a 129 000 à 116 000 ans) fut, pour plusieurs milliers d'années, au moins de 5 m plus élevé qu'aujourd'hui et il est *fort probable* qu'il ne dépassait pas de plus de 10 m les niveaux actuels. Il y a aussi une *grande probabilité* que ce changement de niveau des océans a eu lieu alors que la température de la surface terrestre était au moins supérieure de 2 °C à la température actuelle. Après le dernier maximum glaciaire, il y a plusieurs milliers d'années, le niveau moyen mondial des océans a atteint une valeur proche de la valeur actuelle.

Il est *moyennement probable* que l'ampleur des variations du niveau de la mer n'a pas dépassé 0,25 m par siècle au cours des derniers millénaires. Dans ce contexte, le taux actuel de modification du niveau moyen de la mer est, avec une *probabilité moyenne*, anormalement élevé, dans le cadre des deux derniers millénaires.

Il est *pratiquement certain* que le taux d'élévation moyen du niveau global des océans s'est accru comparé aux taux relativement faibles, de l'ordre de quelques dixièmes de mm par an, observés dans les millénaires passés aux taux actuels qui sont de l'ordre du mm par an. Plus précisément, le niveau moyen des océans a augmenté de 0,19 [0,17 à 0,21] m sur la période 1901-2010.

## **2.6 Les événements météorologiques extrêmes ont-ils augmenté au cours des dernières décennies ?**

Dans le contexte de cette évaluation, un « événement extrême » est défini comme un événement qui s'écarte de la normale et sont donc des événements rares. Des analyses récentes de phénomènes météorologiques extrêmes entre 1951 et 2010 appuient généralement les conclusions des rapports précédents qu'il est *très probable* que le nombre de jours et de nuits froids a diminué et que le nombre de journées et de nuits chaudes a augmenté à l'échelle mondiale. Globalement, il y est aussi *moyennement probable* que la longueur et la fréquence des vagues de chaleur, y compris des canicules, a augmenté depuis le milieu du 20e siècle.

Il est *probable* que, depuis 1950, le nombre d'événements de fortes précipitations sur les terres a augmenté dans plus de régions que dans celles où il a diminué. De nouveaux résultats indiquent également que les tendances à la hausse mondiale des sécheresses depuis les années 1970 ne sont plus clairement établies, comme il avait été supposé dans les conclusions du rapport AR4 de 2007. Il y a une forte probabilité qu'il y a eu des sécheresses de plus grande ampleur et de plus longue durée au cours du dernier millénaire que celles observée depuis 1900 dans de nombreuses régions. Il est également *moyennement probable* que pendant le « Petit Age Glaciaire » (1450-1850), par rapport à l'Anomalie climatique Médiévale (950-1250), plus de méga- sécheresses se sont produites dans l'Asie des moussons et que des conditions plus humides ont prévalu dans les zones arides de l'Asie centrale et dans les régions de moussons sud-américaines.

Les changements dans les sécheresses montrent cependant des changements régionaux importants : depuis 1950, la fréquence et l'intensité des sécheresses a *probablement* augmenté dans la Méditerranée et l'Afrique de l'Ouest et *probablement* diminué dans le centre de l'Amérique du Nord et le nord-ouest de l'Australie.

Il est *pratiquement certain* que la fréquence et l'intensité des tempêtes dans l'Atlantique Nord a augmenté depuis les années 1970, bien que les raisons de cette augmentation soient débattues. Ailleurs, les tendances de la fréquence des tempêtes sont plus difficiles à établir.

Au cours des cinq derniers siècles, des inondations plus importantes que celles enregistrées depuis le début du 20<sup>e</sup> siècle ont eu lieu avec une probabilité élevée, dans le Nord et en Europe centrale, en région Méditerranéenne occidentale et en Asie orientale. En revanche, dans le Proche-Orient, en Inde, en Amérique du Nord centrale, Il est *moyennement probable* que les grandes inondations contemporaines sont comparables ou surpassent les inondations historiques en amplitude et / ou en fréquence.

## 2.7 Comment les émissions de gaz à effet de serre ont-elles évolué dans les derniers siècles ?

En 2011, les concentrations atmosphériques en gaz à effet de serre dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), méthane (CH<sub>4</sub>) et oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O) dépassent la plage de concentrations enregistrées dans les carottes de glace. Les variations passées des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre sont déterminées avec un très haut niveau de certitude à partir de ces carottes de glace polaire qui couvrent maintenant toute la période depuis 800.000 ans.

Avec une *très grande probabilité*, les taux actuels de hausse de l'effet de serre dans l'atmosphère et les augmentations liées à l'effet des gaz à effet de serre sont sans précédent par rapport aux données plus précises relatives aux 22.000 dernières années et, avec une *probabilité moyenne*, ils sont aussi sans précédent par rapport aux 800.000 dernières années.

Dans plusieurs périodes caractérisées par des concentrations élevées de CO<sub>2</sub> atmosphérique, il est *moyennement probable* que la température moyenne de la planète était nettement au-dessus des niveaux pré-industriels.

- Au cours de la période du mi-Pliocène (il y a 3,3 à 3,0 millions d'années), une concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère était comprise entre 350 ppm et 450 ppm (*probabilité moyenne*) alors que, avec une *probabilité moyenne*, la température de la surface terrestre moyenne globale était d'environ 2 °C à 3,5°C plus élevée que pour la période pré-industrielle.
- Au cours de l'Éocène inférieur (il y a 52 à 48 millions d'années), la concentration de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère a dépassé ~ 1000 ppm alors que la température de la surface terrestre moyenne globale était de 9°C à 14°C plus élevée (*probabilité moyenne*) que dans la période pré-industrielle.

Entre 1750 et 2011, les émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère provenant de la combustion de combustibles fossiles et de la production de ciment sont estimées avoir atteint 365 [335-395] milliards de tonnes (Pg<sup>1</sup>) de carbone. Bien que les émissions provenant des combustibles fossiles croissent de plus en plus vite, une autre contribution majeure aux émissions de carbone dans l'atmosphère est associée à l'utilisation des terres, principalement via la déforestation. Entre 1750 et 2011, il est estimé que cette activité a amené la libération de 180 [100 à 260] milliards de tonnes (Pg) de carbone.

De ce carbone libéré dans l'atmosphère par les combustibles fossiles et l'utilisation des terres de 1750 à 2011, un peu moins de la moitié s'est accumulée dans l'atmosphère, ce qui a provoqué l'augmentation observée de la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère qui est passée de 278 ppm [275-281] autour de l'année 1750 à 390 ppm en 2011. Le reste du carbone rejeté par les émissions de carburant fossiles et lié à l'utilisation des terres a été absorbé par les océans ou réabsorbé par les écosystèmes terrestres. Les océans absorbent



une grande partie du CO<sub>2</sub>, ce qui a *très probablement* entraîné une acidification progressive des océans<sup>2</sup>.

La concentration de méthane (CH<sub>4</sub>) dans l'atmosphère a augmenté d'un facteur de 2,5 depuis la période préindustrielle, passant d'environ 720 ppb<sup>3</sup> en 1750 à environ 1803 ppb en 2011 (Figure RT.5). Il est *très probable* que l'augmentation du CH<sub>4</sub> atmosphérique au cours de la période industrielle est causée par les activités humaines telles que l'agriculture et les émissions issues des sites d'enfouissement des déchets.

Depuis les temps pré-industriels, la concentration des oxydes d'azote (N<sub>2</sub>O) dans l'atmosphère a augmenté d'un facteur de 1,2. Les changements dans le cycle de l'azote (liés notamment à la production et l'usage de nutriments et d'engrais ainsi que de la combustion de combustibles fossiles), en plus des interactions avec les sources et les puits de CO<sub>2</sub>, influencent en amont les émissions de N<sub>2</sub>O, à la fois sur terre et dans les océans.

<sup>1</sup> Pg : petagram, : one million billion grams or one billion tons.

<sup>2</sup> Ce qui peut affecter les écosystèmes marins

<sup>3</sup> ?

### **3. D'où provient le changement climatique ?**

#### **3.1 Qu'est-ce que le forçage radiatif ?**

Le forçage radiatif (RF) est un déséquilibre entre l'énergie reçue par la terre et l'énergie qui est rayonnée vers l'espace. Il est généralement exprimé comme une quantité d'énergie par unité de surface, exprimée en watts par mètre carré (W/m<sup>2</sup>). Un forçage positif représente une situation où il y a plus d'énergie entrante que d'énergie sortante, ce qui conduit à un réchauffement du système, alors qu'un forçage négatif conduit à un refroidissement.

Les activités humaines ont changé et continuent de changer la surface de la Terre et la composition chimique de l'atmosphère. Certains de ces changements ont un impact direct ou indirect sur le bilan énergétique de la Terre et sont donc les facteurs influençant le forçage radiatif.

## 3.2 Quels sont les facteurs naturels actuels du changement climatique ?

Au cours de la période correspondant à l'ère industrielle, depuis 1750, les forçages radiatifs d'origine solaire et volcanique sont les deux contributeurs naturels dominants au changement climatique mondial.

Le forçage solaire : l'observation par satellite des changements de l'irradiance solaire totale (TSI) depuis 1978 montrent une variation cyclique quasi-périodique, avec une période d'environ 11 années. Le forçage à plus long terme peut être estimé en comparant les minima solaires au cours desquels la variabilité est minimale. Cela donne un changement du forçage légèrement négatif entre le minimum de 1986 et le minimum de 2008, et un forçage légèrement positif depuis 1750. Il y a une probabilité élevée que le forçage solaire soit beaucoup plus petit que le forçage causé par les gaz à effet de serre, même si les capacités actuelles pour prévoir le rayonnement solaire sont extrêmement limitées, ce qui fait que le niveau de probabilité concernant le forçage solaire futur est *très faible*.

Il a été émis l'hypothèse que les changements de rayonnements cosmiques qui sont associés à des changements dans l'activité solaire affectent le climat par des changements dans la dynamique des nuages. Même si les rayons cosmiques augmentent en effet la nucléation des aérosols et peuvent affecter la condensation des nuages, l'effet est considéré comme trop faible pour avoir une influence climatique au cours d'un cycle solaire.

Les aérosols volcaniques : Le forçage dû aux aérosols volcaniques stratosphériques est maintenant bien compris et on observe un grand forçage négatif pendant les quelques années qui suivent les grandes éruptions volcaniques. Par exemple, l'éruption du Mont Pinatubo en 1991 a provoqué pendant un an un forçage négatif d'environ  $-3,7 \text{ W/m}^2$ .

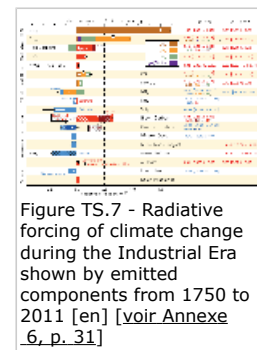


Figure TS.7 - Radiative forcing of climate change during the Industrial Era shown by emitted components from 1750 to 2011 [en] [voir Annexe 6, p. 31]

## 3.3 Quels sont les facteurs de changement climatique d'origine humaine ?

3.3.1 L'activité humaine conduit à modifier la composition de l'atmosphère terrestre, soit directement (via les émissions de gaz ou de particules) ou indirectement (par l'intermédiaire de la chimie atmosphérique).

Les émissions anthropiques ont entraîné des changements dans les concentrations de gaz à effet de serre au cours de l'ère industrielle (donc depuis 1750). Comme l'évolution historique des concentrations de ces gaz est bien connue, et puisque leurs propriétés d'effet de serre sont également bien connues et définies, calculer le forçage radiatif (RF) lié à l'effet de serre donne des valeurs bien définies avec une *très grande probabilité*. (Figure RT.6). En fonction des changements de concentration, le forçage radiatif de tous les gaz à effet qui sont bien mélangés dans l'atmosphère était en 2011 à  $2,83 \text{ W/m}^2$  [2,54 à 3,12]. Au cours des 15 dernières années, le  $\text{CO}_2$  a été le principal contributeur à l'augmentation du forçage radiatif de l'effet de serre tandis que le méthane et l'oxyde d'azote sont également des facteurs importants. Les halocarbures, tels que les chloro-fluoro-carbones (CFC) – utilisés dans le passé entre autres dans les systèmes de refroidissement – sont des gaz à effet de serre très puissants, et ils contribuent également au forçage radiatif, même si ils ne sont présent que dans des relativement très petites quantités par rapport au  $\text{CO}_2$ . La croissance du forçage par les gaz à effet de serre est plus lente qu'elle ne l'était dans

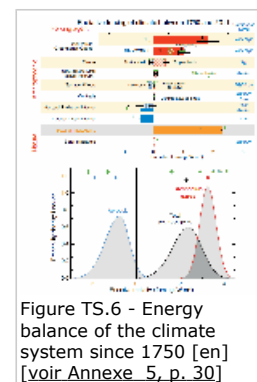


Figure TS.6 - Energy balance of the climate system since 1750 [en] [voir Annexe 5, p. 30]

les années 1970 et 1980 parce que les émissions de gaz à effet de serre autres que le CO<sub>2</sub> ont augmenté plus lentement<sup>4</sup>.

Certains gaz à effet de serre, tels que l'ozone et la vapeur d'eau, contribuent également à des forçages d'origine anthropique. Dans la basse atmosphère, l'ozone entraîne un forçage positif tandis que, dans la haute atmosphère, l'appauvrissement de la couche d'ozone, induite notamment par des radicaux libres de chlore produits par la décomposition des halométhanés, conduit à un forçage négatif. L'ozone n'est pas émis directement dans l'atmosphère ; il est formé dans la basse atmosphère lorsque l'oxyde d'azote ou les hydrocarbures réagissent avec la lumière et dans la haute atmosphère où l'oxygène réagit avec la lumière ultraviolette. Il existe *des preuves solides* que l'ozone dans la basse atmosphère affecte les plantes et réduit leur absorption de CO<sub>2</sub>, ce qui contribue à l'augmentation de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

L'impact des gaz à effet de serre peut être estimée d'un certain nombre de façons, mais les deux moyens principaux sont en termes de potentiel de réchauffement global (PRG) ou en termes de Potentiel de Changement de Température globale ou PCT (GTP en anglais). Le Potentiel de Réchauffement Global PRG (GWP en anglais) exprime le forçage radiatif d'un gaz à effet de serre particulier en référence à son potentiel de réchauffement par rapport au dioxyde de carbone, tandis que le PCT exprime la variation de température introduite par ce même gaz et tient donc compte de la réponse du système climatique.

<sup>4</sup> Notamment parce que la production des halocarbones a été réglementée par le Protocole de Montréal

3.3.2 Les aérosols sont des gouttelettes liquides ou des particules minuscules (comme la poussière des volcans) qui sont en suspension dans l'atmosphère. Ils contribuent à l'équilibre de l'énergie en interagissant avec la formation de nuages, ou directement par la réflexion ou l'absorption de la lumière. Il y a eu des progrès au cours des dernières années sur la compréhension des propriétés et la distribution des aérosols, mais d'importantes incertitudes demeurent, en raison de la difficulté des observations et de leur grande variabilité.

Le forçage radiatif global produit par les aérosols est négatif (ils provoquent un refroidissement de l'atmosphère), mais il existe une grande marge d'incertitude à ce sujet.

Le forçage produit par les particules de noir de carbone sur la neige et la glace est évalué comme étant légèrement positif, mais avec un *faible degré de probabilité*. Il représente une variation moyenne de la température mondiale de la surface terrestre par unité de forçage plus grand que celui du CO<sub>2</sub>, principalement parce que toute l'énergie est déposée directement dans la cryosphère. Les calottes glaciaires, les glaciers et la banquise réfléchissent l'énergie solaire vers l'espace (cette réflectivité de la surface de la terre est appelé « albédo ») et le dépôt noir sur la glace affecte ce réfléchissement, ce qui a un impact sur le climat qui peut être important dans les régions polaires et d'autres régions couvertes de neige ou de glace.

Malgré la grande incertitude concernant l'importance du forçage produit par les aérosols, il y a une probabilité élevée que les aérosols ont compensé une partie substantielle du forçage dû aux gaz à effet de serre. Les interactions entre aérosols et nuages peuvent également influencer la force de certaines tempêtes mais la probabilité d'un effet systématique des aérosols sur les tempêtes ou l'intensité des précipitations est plus limitée et ambiguë.

3.3.3 Il y a de solides preuves que les changements d'origine anthropique d'utilisation des terres, comme la déforestation, ont augmenté l'albédo de la surface terrestre (qui est différent dans une forêt plus sombre qu'un champ, en général plus clair, par exemple). Il y a encore des incertitudes dans l'évaluation de l'albédo des surfaces naturelles et gérées (telles que les terres cultivées, les pâturages) et l'influence des changements d'utilisation des terres au cours des derniers siècles est encore débattue. Les changements dans l'utilisation des terres provoquent également d'autres modifications, comme des changements dans la rugosité des surfaces et dans les eaux de ruissellement vers les rivières, qui ont également un impact sur les températures locales mais sont difficiles à quantifier.

Les traînées persistantes provenant de l'aviation est une autre forme de contribution à un forçage radiatif positif. Ce forçage peut être beaucoup plus important à l'échelle régionale, mais il ne semble pas produire d'effets observables à ce niveau régional sur la moyenne ou sur l'amplitude diurne de la température de surface.

### 3.4 Quel est le rôle des mécanismes de rétroaction dans le changement climatique ?

Les mécanismes de rétroaction jouent également un rôle important dans la détermination de (futurs) changements climatiques. En effet, les changements climatiques pourraient induire des modifications des cycles naturels, ce qui peut renforcer ou freiner l'augmentation de température attendue.

Par exemple :

- Les effets de rétroaction de l'albédo de la neige et des glaces sont connus pour être positifs : plus il fait chaud, moins il y a de neige, plus le sol est sombre et chaud, plus faible sont les facteurs de rémission ;
- Il peut aussi y avoir des effets de rétroaction produits par la couverture nuageuse mais il y a encore de *grandes incertitudes* attachées à leur importance et leur influence.
- Les émissions de méthane (CH<sub>4</sub>) par les zones humides (associées à la dégradation anaérobie de la matière organique) vont augmenter dans un contexte de réchauffement climatique mais il n'est pas clair si les zones de terres humides vont augmenter ou diminuer, et de ce fait, leur incidence globale n'est pas claire.

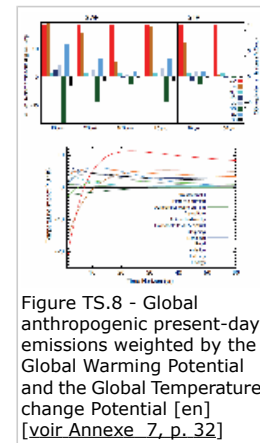


Figure TS.8 - Global anthropogenic present-day emissions weighted by the Global Warming Potential and the Global Temperature change Potential [en] [voir Annexe 7, p. 32]

## 4. Comment étudions-nous l'évolution du système climatique ?

### 4.1 Modèles, observations et validation

La compréhension du système climatique résulte de la combinaison d'observations, d'études théoriques des mécanismes et des processus de rétroaction et de simulations par modèles. Par rapport au 4<sup>e</sup> rapport d'évaluation publié en 2007, des observations plus détaillées et des modèles climatiques améliorés permettent désormais d'attribuer les changements climatiques observés à des influences humaines parmi un nombre accru de composantes du système climatique.

La cohérence des changements observés et modélisés dans le système climatique, y compris les températures régionales, le cycle de l'eau, le budget global de l'énergie, la cryosphère et les océans (y compris l'acidification des océans), renforcent le fait que les changements

climatiques mondiaux résultent principalement de l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre atmosphériques d'origine anthropique.

Le réchauffement de la terre est provoqué par un déséquilibre entre le forçage radiatif positif qui rend la planète plus chaude et la dissipation de l'énergie vers l'espace qui la refroidit. Plus la terre est chaude, plus il y a d'énergie dissipée vers l'espace. Si le forçage radiatif était à un niveau constant, un nouvel équilibre serait éventuellement atteint, et il n'y aurait plus de réchauffement. Toutefois, le forçage est en augmentation, et la teneur en énergie du système climatique augmente aussi. Il faut de grandes quantités d'énergie pour réchauffer les océans et les changements observés dans les températures de l'océan sont *des preuves solides* d'un changement climatique. La quantification des différents éléments dans le bilan énergétique de la Terre et la vérification de celui-ci au cours des dernières décennies fournit *des preuves solides* que notre compréhension du changement climatique d'origine anthropique est correct.

Plusieurs avancées récentes ont permis une quantification plus robuste de l'influence humaine sur les changements de température de la surface terrestre. Les anomalies de température observées actuellement par rapport au début du 20ème siècle sont bien en dehors de la plage des simulations qui ne considèrent que le forçage naturel du climat.

Il est extrêmement probable que les activités humaines ont causé plus de la moitié de l'augmentation observée de la température de surface moyenne mondiale entre 1951 et 2010. Cette évaluation est étayée par *des preuves solides* à partir de plusieurs études utilisant des méthodes différentes. Les gaz à effet de serre ont contribué à un réchauffement de surface moyenne globale qui devrait se situer entre 0,5°C et 1,3°C au cours de la période entre 1951 et 2010, avec les contributions :

- d'autres forçages anthropiques susceptibles d'être compris entre -0,6°C et 0,1°C et
- de forçages naturels susceptibles d'être compris entre -0,1°C et 0,1°C.

Ensemble, ces contributions sont *compatibles* avec le réchauffement d'environ 0,6°C observé au cours de cette période.

Le forçage solaire a *probablement* eu une influence sur la température de la planète au cours de la période 1951-2010, mais il a beaucoup moins augmenté que le forçage produit par les émissions de gaz à effet de serre.

## 4.2 Pourquoi l'augmentation de la température planétaire a-t-elle ralenti au cours des 15 dernières années ?

La température de surface moyenne globale (Global Mean Surface Temperature – GMST) observée a montré une augmentation beaucoup plus faible au cours des 15 dernières années qu'au cours des 30 à 60 dernières années. Le réchauffement au cours de cette période a été environ entre un tiers et la moitié de la tendance des années 1951 à 2012. Les changements dans le forçage radiatif entre décennies montrent que pour la période 1998-2011 ce forçage était en effet des deux tiers de ce qu'il avait été pour la période 1984-1998. Des changements dans les forçages naturels ont également été observés, des éruptions volcaniques par exemple, et dans le forçage solaire qui est passé d'un maximum en 2000 à un minimum en 2009.

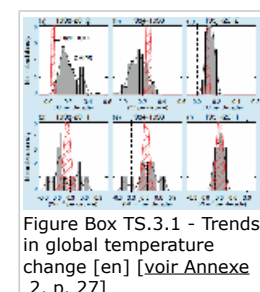


Figure Box TS.3.1 - Trends in global temperature change [en] [voir Annexe 2, p. 27]

Les *incertitudes* sur les forçages radiatifs sont relativement importantes. Cela ne semble pas pour autant être un facteur manquant pour expliquer la variation observée au cours de la dernière décennie. Même avec cette pause dans la tendance d'augmentation de la

température mondiale, la décennie des années 2000 a été la plus chaude observée dans tous les relevés instrumentaux. Néanmoins, l'apparition de la pause de cette tendance de la GMST au cours des 15 dernières années soulève deux questions connexes :

1. Quelle en est la cause ?
2. Les modèles climatiques sont-ils capables de la simuler ?

De telles périodes de hiatus de quinze ans sont communes tant dans les données de température observées et historiques. Cependant, les simulations des modèles actuels ne correspondent pas à ces observations récentes, ce qui pourrait être causé par une erreur dans la réponse des modèles, par un forçage – comme celui de la vapeur d'eau – qui n'est pas encore pris en compte dans les modèles, ou par une variation dans le climat qui n'est pas encore intégrée dans les limites des modèles climatiques actuels. Une période de 5 ans est en effet trop courte pour observer l'effet de tendances à long terme qui peuvent également être touchés par les courants océaniques variations comme celles d'El Nino ou de l'Oscillation Interdécennale du Pacifique.

Globalement, il est *très probable* qu'au cours de cette période, le système climatique a continué à accumuler de l'énergie, par exemple sous la forme d'une augmentation de la température de l'océan, bien que, si des données montrent un ralentissement et d'autres pas, le fait de savoir s'il y a eu un ralentissement du réchauffement durant cette période récente demeure *peu clair*.

### 4.3 Comment les projections des évaluations précédentes se comparent avec les observations présentes ?

La vérification des projections est sans doute la façon la plus convaincante d'établir la crédibilité des modèles utilisés dans les sciences du changement climatique. Les résultats des changements anticipés dans les teneurs en CO<sub>2</sub>, la température de surface moyenne globale et le niveau moyen des océans dans les rapports précédents d'évaluation du GIEC peuvent être comparés avec les meilleures observations actuellement disponibles.

#### Comparaison de l'évolution du CO<sub>2</sub> atmosphérique modélisée et mesurée

Les changements observés dans les concentrations atmosphériques de CO<sub>2</sub> s'inscrivent dans la gamme des scénarios qui ont été utilisés dans les quatre rapports d'évaluation précédents.

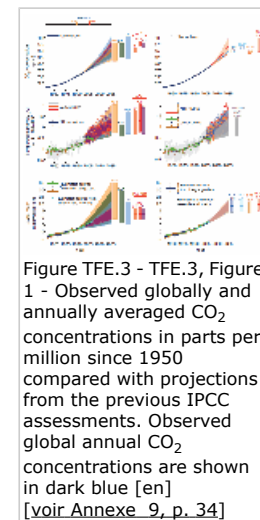


Figure TFE.3 - TFE.3, Figure 1 - Observed globally and annually averaged CO<sub>2</sub> concentrations in parts per million since 1950 compared with projections from the previous IPCC assessments. Observed global annual CO<sub>2</sub> concentrations are shown in dark blue [en] [voir Annexe 9, p. 34]

#### Comparaison l'évolution de la température moyenne globale modélisée et mesurée

Globalement, les enregistrements de température observées se situent dans la *gamme globale des incertitudes* des modèles. La température de surface moyenne globale a été supérieure à la moyenne 1961-1990 d'au moins 0,25°C depuis 2001. L'éruption du mont Pinatubo en 1991 a conduit à une brève période de refroidissement de la température moyenne mondiale par rapport au début des années 1990 qui n'avait pas été prise en compte dans les modèles utilisés dans les premier, deuxième et troisième rapports d'évaluation. Des modèles plus récents, cependant, ont mieux fait comprendre l'impact des émissions de volcans et ont permis de simuler avec succès le refroidissement associé à l'éruption du Pinatubo. De 1998-2012, les observations estimées sont comprises en grande partie dans le bas de la fourchette proposée par les scénarios des précédents rapports.

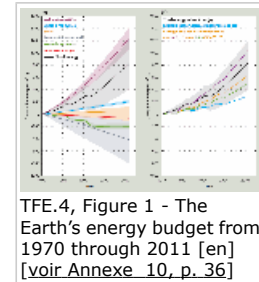
## Comparaison des niveaux moyens des mers modélisés mesurés

Basé à la fois sur les données des marégraphes et des données altimétriques par satellite, par rapport à 1990, le niveau moyen des océans a continué à augmenter. Les estimations observées se situent à l'intérieur de l'enveloppe de toutes les projections.

### 4.4 Comment les océans ont-ils changé ?

Différents paramètres océaniques ont été suivis et modélisés en termes de réponse aux changements climatiques : température, salinité, teneur en oxygène et acidité.

- Température** Le réchauffement de la couche supérieure de l'océan, observé au cours de la fin du 20ème et au début du 21ème siècle, ainsi que ses causes ont été évalués plus complètement depuis le précédent rapport en utilisant les observations mises à jour et plus de simulations par modèles. Il est *très probable* que le forçage radiatif d'origine anthropique ont apporté une contribution substantielle au réchauffement de l'océan supérieur (la couche supérieure d'une profondeur de 700 m) qui a été observé depuis les années 1970. Ce réchauffement a, à son tour, contribué à une élévation du niveau global de la mer par dilatation thermique. Il est estimé que plus de 90 % de l'énergie qui s'est ajoutée au système climatique a été absorbée par les océans.
- la salinité** à l'échelle mondiale, les changements de la salinité observés à la surface et sous la surface (1955-2004) sur les 250m supérieurs de la colonne d'eau sont très peu *probablement* explicables par une variabilité naturelle et les changements de salinité observés correspondent à la distribution modélisée des changements de forçage radiatif produits par les émissions de gaz à effet de serre et d'aérosols troposphériques.
- l'oxygène** est un traceur physique et biologique important des océans. Les analyses globales de données d'oxygène des années 1960 à 1990 ont permis d'étendre la couverture spatiale du niveau local à l'échelle mondiale et ces données ont été combinées avec des études d'attribution pour un nombre limité de modèles du système terrestre. Il est actuellement *moyennement probable* que la diminution de l'oxygène dissous dans les océans observé dans le modèle global peut être attribuée en partie aux influences humaines.
- Les observations montrent des tendances distinctes pour **l'acidification** des océans qui est observée comme comprise entre -0,0014 -0,0024 unités de pH par an. Il est *très probable* que l'absorption océanique de dioxyde de carbone d'origine anthropique a donné lieu à l'acidification des eaux de surface.



### 4.5 Les neiges et les glaciers

Les réductions des étendues de la glace (banquises) de l'Océan Arctique et de la Mer du Nord hémisphère, la réduction généralisée de la couverture de neige et la retraite des glaciers - et l'augmentation de la fonte des glaces du Groenland sont autant d'*indices* des changements globaux dans les neiges et les glaces liées à l'augmentation des forçages radiatifs d'origine anthropique.

Il est *probable* que le forçage anthropique a contribué à la fonte de surface de la calotte glaciaire du Groenland depuis 1990.

En revanche, la compréhension du système Antarctique est plus fragmentaire et il est *prématuré de suggérer* que les forçages anthropiques sont en jeu dans ce cas. La banquise

de l'Océan Antarctique a augmenté depuis 1979 mais il y a beaucoup de facteurs qui font que la modélisation est difficile et la compréhension des phénomènes incomplète. Les estimations du bilan de masse de la calotte glaciaire de l'Antarctique depuis 2000 montrent que les pertes les plus importantes se situent en bordure, *probablement* en relation avec le réchauffement océanique.

**Pour les glaciers**, il est *fort probable* qu'une partie importante de leur perte de masse est *probablement* dûe à l'influence humaine. Pour la couverture de neige, il est également *probable* qu'il y ait eu une influence de l'activité humaine sur les réductions observées dans l'hémisphère Nord depuis 1970.

## 4.6 Quels sont les principaux changements climatiques qui pourraient être irréversibles ?

Le rythme et l'ampleur du changement climatique mondial est déterminé par le forçage radiatif, les rétroactions climatiques et le stockage de l'énergie par le système climatique. Pour certains éléments du système climatique, il y a un point à partir duquel un changement brutal pourrait se produire une fois ce seuil atteint. Ces brusques changements peuvent être irréversibles, ce qui signifie ici que cela prend beaucoup plus de temps pour que le système retrouve son état initial que celui qu'il lui a fallu pour passer à son nouvel état.

4.6.1 Un modèle climatique récent a confirmé que des changements dans la circulation méridienne de l'Atlantique<sup>5</sup> (AMOC) pourraient produire de brusques changements climatiques à l'échelle mondiale et sur le climat de l'Europe et l'Amérique du Nord, avec une amplitude et un motif ressemblant au réchauffement rapide et aux schémas qui ont eu lieu au cours de la dernière glaciation. Cependant, alors qu'il est *très probable* que l'AMOC s'affaiblira au fil du 21<sup>e</sup> siècle, il est *très peu probable* qu'il fera l'objet d'une transition abrupte ou d'un effondrement au cours de cette période.

4.6.2 Dans un contexte de réchauffement climatique, la fonte du pergélisol pourrait conduire à la libération de carbone accumulé dans les sols gelés, conduisant à une augmentation des concentrations de CO<sub>2</sub> et de méthane atmosphérique. Il est prévu que le pergélisol actuel va devenir un émetteur net de carbone au cours du 21<sup>e</sup> siècle. Cependant, il est difficile de quantifier l'impact de la fonte du pergélisol en raison du manque de compréhension des processus au niveaux des sols pendant et après le dégel du pergélisol.

4.6.3 Comme la croissance des calottes de glace est un processus très lent, toute augmentation de la perte de glace, soit par fonte ou par clivage serait irréversible dans le sens retenu ici. À l'heure actuelle, à la fois au Groenland et pour les calottes glaciaires de l'Antarctique les chutes de neige dépassent la fonte des glaces, mais les deux territoires perdent de la masse glacière en raison de pertes de glace vers les océans. Bien qu'il existe encore *beaucoup d'incertitudes*, il est estimé qu'au-delà d'une augmentation de la température de la planète située entre 2°C et 4°C, sur plusieurs siècles la calotte glaciaire du Groenland pourrait fondre presque entièrement, provoquant une élévation du niveau des mer d'environ 7 mètres en moyenne au niveau mondial.

<sup>5</sup> La circulation océanique méridienne, en anglais Meridional Overturning Circulation (MOC) est parfois appelée circulation thermohaline parce qu'elle dépend en grande partie des différences de température et de salinité -donc de densité- entre les masses d'eau



## 5. Quels changements dans le système climatique sont prévus pour l'avenir ?

### 5.1 Quels modèles et scénarios ont été utilisés dans cette évaluation du changement climatique ?

Les projections des changements dans le système climatique sont faites en utilisant une gamme de modèles climatiques qui simulent les changements en se basant sur un ensemble de scénarios de forçage radiatif d'origine anthropique. Une nouvelle série de scénarios, les scénarios RCP (pour Representative Concentration Pathways), ont été utilisés pour les simulations des modèles climatiques réalisées pour ce 5ème rapport ; ils comprennent généralement des composantes tant économiques, démographiques que de l'énergie et du climat.

Au cours des dernières années, les modèles climatiques ont été constamment améliorés, et il y a une *très grande probabilité* maintenant que ces modèles reproduisent les évolutions de la température moyenne de surface à l'échelle mondiale. Il y a eu également une *amélioration significative* de la modélisation à l'échelle régionale, mais le *niveau de probabilité* de ces modèles est *inférieur* à ceux à grande échelle.

Les émissions futures de gaz à effet de serre (GES), de particules d'aérosols et d'autres sources de forçage radiatif tels que les changements d'utilisation des sols (forêts, cultures) dépendent de facteurs socio-économiques, et peuvent être influencés par des accords géopolitiques au niveau mondial dans le but de contrôler les émissions et évoluer vers leur atténuation. Les scénarios utilisés dans cette évaluation, qui explorent ce que ces émissions pourraient être, ont des cibles différentes d'ici 2100 en termes de forçage radiatif, qui vont d'un scénario d'«atténuation forte» à un scénario de croissance continue des émissions.

### 5.2 Comment est projetée l'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> et celle du cycle du carbone dans le futur ?

Entre 2012 et 2100, selon les scénarios, les résultats des modèles du système terrestre (Earth System Models ou ESM) impliquent des émissions de combustibles fossiles cumulées comprises entre 270 et 1 685 gigatonnes de carbone (PgC<sup>6</sup>).

La réponse du cycle du carbone aux futurs changements climatiques et de CO<sub>2</sub> peut être considérée comme l'effet de deux rétroactions fortes et opposées. D'une part, il est *fort probable* que l'augmentation de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère entraîne une augmentation de l'absorption de carbone par les terres et les océans et, d'autre part, il est *moyennement probable* que le changement climatique futur diminuera l'absorption de carbone par les terres et les océans par rapport à un climat qui serait constant.

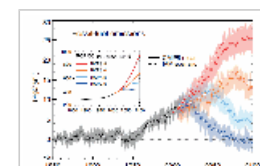


Figure TS.19 - Compatible fossil fuel emissions simulated by the CMIP5 models for the four RCP scenarios [en] [voir Annexe 4, p. 29]

Cette conclusion est appuyée par des observations paléoclimatiques et des modélisations indiquant qu'il existe une rétroaction positive entre le climat et le cycle du carbone à l'échelle des siècles et des millénaires.

Il est *fort probable* aussi que, à l'échelle mondiale, le cycle de l'azote, désormais pris en compte dans les modèles, permettra, dans le cas des écosystèmes terrestres, de réduire la force des rétroactions de carbone.

Les changements dans le cycle de l'azote, en plus des interactions avec les sources et les puits de CO<sub>2</sub>, influencent les émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), à la fois sur terre et sur les océans. La production d'azote réactif lié aux activités humaines a augmenté de façon constante au cours des deux dernières décennies et est due principalement à la production d'ammoniac pour les engrais et l'industrie, avec des contributions importantes liées à la production de légumes et à la combustion de combustibles fossiles.

<sup>6</sup> Petagram of carbon = 1 PgC = 1 Gigatonne of carbon = 1 GtC. This corresponds to 3.67 Gt CO<sub>2</sub>.

### 5.3 Comment le climat devrait-il changer à l'avenir ?

La vérification des projections est sans doute la façon la plus convaincante d'établir la crédibilité de science du changement climatique. Les résultats des changements prévus dans le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), la température moyenne globale de la surface terrestre et le niveau moyen de la mer décrits dans les précédents rapports d'évaluation du GIEC sont quantitativement comparés avec les meilleures estimations d'observation disponibles. Dans tous les cas, les observations se situent dans la gamme des changements projetés. Les changements climatiques prévus peuvent être projetés pour les prochaines décennies, et même jusqu'à la fin du 21<sup>ème</sup> siècle.

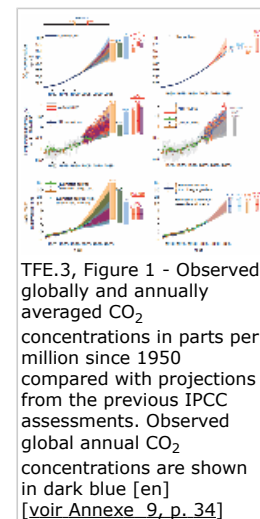
**5.3.1 Température moyenne mondiale:** En l'absence de grandes éruptions volcaniques qui causeraient un refroidissement temporaire important, et en supposant l'absence de changements significatifs à long terme de l'irradiance solaire, il est *probable* que la

température de surface moyenne globale sera supérieure de 0,3°C à 0,7°C, au cours de la période 2016-2035 par rapport à la période 1986-2005 (*probabilité moyenne*).

**La température des océans** va *très probablement* continuer à croître dans un proche avenir. À court terme, il est *probable* que la fréquence et l'intensité des épisodes de fortes précipitations augmenteront sur la terre. Ces changements sont principalement dus à l'augmentation de teneur de l'atmosphère de vapeur d'eau, mais sont aussi affectés par des changements dans la circulation atmosphérique.

**La salinité des océans** va *probablement* augmenter dans la zone tropicale et (surtout) dans l'Atlantique subtropical, et diminuer dans le Pacifique tropical ouest au cours des prochaines décennies. Dans l'ensemble, il est probable qu'il y aura un affaiblissement de la grande Circulation Méridionale de l'Atlantique en 2050 (*probabilité moyenne*). Toutefois, le rythme et l'ampleur de cet affaiblissement est très incertain et il aura aussi des décennies où la circulation sera augmentée.

Un océan Arctique presque libre de glace (mesurant moins de 1.000.000 km<sup>2</sup>) en Septembre est probable avant le milieu du siècle, selon le scénario le plus élevé d'émissions, avec un



*degré de confiance moyen*. Il est *très probable* que l'amincissement et la réduction de la banquise Arctique se poursuive, ainsi que des diminutions de la couverture neigeuse de printemps dans les plus hautes latitudes et du pergélisol superficiel à mesure que la température de surface moyenne globale augmentera.

### 5.3.2

- Les températures moyennes mondiales vont continuer à augmenter au cours du 21<sup>ème</sup> siècle selon tous les scénarios pris en compte. Au milieu du 21<sup>ème</sup> siècle, le taux de réchauffement de la planète commence à varier plus fortement selon le scénario : les augmentations probables de température de surface moyenne globale prévues se situent entre 0,3 et 4.8°C
- Pour la période 2081-2100, les températures mondiales devraient *probablement* dépasser de 1,5°C celles de l'ère préindustrielle selon trois scénarios (probabilité élevée) et sont susceptibles de dépasser de 2°C celles de l'ère préindustrielle pour deux (probabilité élevée).
- Le réchauffement au-dessus de 4°C entre 2081 et 2100 est peu probable dans tous les scénarios (probabilité élevée), sauf pour le scénario envisageant une croissance continue des émissions de gaz à effet de serre, où cette augmentation est aussi probable qu'improbable (*degré de confiance moyen*).
- Dans le scénario envisageant l'atténuation la plus forte des émissions, une augmentation de la température de plus de 2°C par rapport à l'ère préindustrielle est peu probable (*degré de confiance moyen*).

Il est *pratiquement certain* que, dans la plupart des endroits, avec l'augmentation de la température moyenne globale, il y aura plus d'extrêmes de températures chaudes et moins de froides. L'augmentation de la fréquence, de la durée et de l'ampleur des températures extrêmement chaudes accompagnées de canicules est attendue, mais parfois des températures extrêmement froides vont encore être observées en hiver.

Il est *pratiquement certain* que, à long terme, les précipitations mondiales vont augmenter avec l'augmentation de température de surface moyenne globale. Certaines régions connaîtront des augmentations, d'autres régions connaîtront des diminutions, et d'autres encore ne connaîtront pas du tout de changements importants.

Il est *très probable* que la banquise Arctique continuera à diminuer et d'amincir au cours du 21<sup>e</sup> siècle. Les projections donnent des réductions moyennes de la banquise arctique au cours du 21<sup>ème</sup> siècle allant de 8% à 34% en février et de 43% à 94 % en septembre, avec un océan Arctique libre de glace en septembre *probablement* avant le milieu du siècle pour le scénario d'émission le plus élevé (*degré de confiance moyen*) (Figure TS.17).

Dans l'Antarctique, une diminution de la banquise en surface et volume est anticipée, mais avec un *faible degré de confiance*. La diminution projetée de l'étendue de la banquise est de 16% à 67 % en février et de 8% à 30 % en septembre à l'horizon 2081-2100 par rapport à la période 1986-2005.

Les données disponibles indiquent qu'un réchauffement climatique supérieur à un certain seuil (généralement estimé entre 2°C et 4°C de réchauffement, certaines études suggérant qu'il pourrait aussi n'être que de 1°C) conduirait à la fonte quasi-complète de la calotte glaciaire du Groenland dans un millénaire ou plus, ce qui provoquerait une élévation du niveau moyen de la mer d'environ 7 m, mais *la fourchette de probabilité ne peut être quantifiée*.

Dans l'hémisphère Nord, la couverture de neige et l'étendue du pergélisol devraient toutes deux diminuer à mesure que les températures mondiales augmentent au cours du prochain siècle. Cependant, les études existantes sur le bilan carbone du pergélisol ne donnent *pas de résultats cohérents*, au-delà du fait que le pergélisol actuel deviendra un émetteur net de carbone au 21<sup>ème</sup> siècle (degré de confiance faible).

Au cours du 21<sup>ème</sup> siècle, l'océan au niveau mondial se réchauffera dans tous les scénarios. Dans certaines régions d'ici la fin du siècle, le réchauffement des océans devrait dépasser 0,5°C à 2,5°C sur les cent premiers mètres de profondeur et 0,3°C à 0,7°C à une profondeur d'environ 1 km. En raison de la longue période nécessaire pour que l'énergie soit transférée de la surface vers les eaux plus profondes, le réchauffement des océans va perdurer pendant des siècles, et se traduira par une contribution continue à l'élévation du niveau des mers.

La moyenne mondiale du niveau des mers devrait augmenter de 0,26 à 0,81 m avant la fin du 21<sup>ème</sup> siècle, avec l'expansion thermique de l'eau comme principal moteur de cette hausse. Il est *pratiquement certain* que l'élévation du niveau de la mer continuera au-delà de 2100, et se poursuivra pendant des siècles, voire des millénaires. Les quelques résultats du modèle disponibles qui vont au-delà de l'année 2100 indiquent une élévation globale moyenne du niveau de la mer au-dessus du niveau de l'ère pré-industrielle en pour 2300 de 1 m à plus de 3 m (*degré de confiance moyen*), en fonction du scénario.

Au-delà de 2100, l'absorption par les océans du CO<sub>2</sub> d'origine anthropique se poursuivra selon les quatre scénarios avec une *très grande probabilité* et cela accentuera l'acidification des eaux des océans. Les concentrations en oxygène devraient également diminuer avec le réchauffement climatique. L'évolution future de l'absorption de CO<sub>2</sub> par les terres, par contre, est beaucoup plus *incertaine*.

Il est *très probable* que le changement climatique va partiellement compenser l'augmentation des puits de carbone terrestres et océaniques mondiaux causés par l'augmentation du CO<sub>2</sub>. Les écosystèmes tropicaux vont stocker moins de carbone dans un climat plus chaud. Aux latitudes élevées, le réchauffement va augmenter le stockage de carbone des terres, mais les modèles ne prennent pas encore en compte la libération du carbone issu de la fonte du pergélisol.

### 5.3.3

- Les dates de début de la **saison des moussons** vont *probablement* être avancées ou de ne pas changer beaucoup au cours du 21<sup>e</sup> siècle alors que les dates de la fin de mousson seront *très probablement* retardées, ce qui entraînera un allongement de la saison de mousson.
- Pour les **pluies tropicales**, il est *pratiquement certain* que le changement des précipitations variera d'un endroit à l'autre, augmentant dans certaines régions et diminuant dans d'autres. Il est *probable* que les précipitations sont susceptibles d'augmenter à proximité des régions pluvieuses, et également augmenter dans les zones où le réchauffement des océans est le plus marqué.
- Le **phénomène El Nino** restera *très probablement* un facteur dominant de variabilité d'année en année. La variabilité de la pluviométrie entre les régions qu'il influence va *probablement* s'intensifier. (*faible degré de confiance*)
- Pour les **cyclones tropicaux**, les projections pour le 21<sup>ème</sup> siècle indiquent qu'il est *probable* que leur fréquence globale va soit diminuer, soit rester essentiellement inchangée et, en même temps, il est *probable* que leur intensité augmentera.
- L'**Oscillation Nord Atlantique**, l'**Oscillation australe**<sup>7</sup> et l'**Oscillation Atlantique Multi-décennale**<sup>8</sup> seront toutes *probablement* affectées par les changements climatiques. Mais les conséquences de ces changements ne sont pas clairs.

<sup>7</sup> Oscillation australe : pression [voir <http://fr.wikipedia.org/wiki/Pression>] atmosphérique au niveau de la mer qui oscille régulièrement dans l'Océan Pacifique [voir [http://fr.wikipedia.org/wiki/Oscillation\\_australe](http://fr.wikipedia.org/wiki/Oscillation_australe)].

org/wiki/Oc%C3%A9an\_Pacifique] sud entre un "indice haut" et un "indice bas", phénomène que Walker baptisa l'oscillation Australe (source : wikipedia)

<sup>8</sup> L'oscillation atlantique multidécennale est une variation de la température de surface de la mer qui s'étend sur plusieurs décennies, de 40 à 80 ans, observée dans le Nord de l'Océan Atlantique (source : wikipedia)

## 5.4 Une « stabilisation du climat » est-elle possible ?

Une stabilisation du climat peut signifier :

- de stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui éviterait toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique, ce qui est l'objectif ultime de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) ;
- de limiter l'augmentation de la température mondiale, ce qui a fait l'objet de récents débats politiques. La limite la plus largement discutée étant celle de 2 ° C au-dessus des niveaux de l'ère préindustrielle ;
- de revenir à un niveau de concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère situé en dessous de 350 ppm.

Néanmoins, la stabilisation de la température mondiale ne signifie pas la stabilisation de tous les paramètres du système climatique. Les processus liés à la végétation, aux calottes glaciaires, au réchauffement de l'océan profond et à l'élévation du niveau des mers qui y est associé ainsi que des effets de rétroaction potentiels ont leurs propres échelles de temps intrinsèques. L'acidification des océans se prolongera *très probablement* à l'avenir aussi longtemps que les océans continueront à absorber le CO<sub>2</sub> atmosphérique. Les changements amorcés du cycle du carbone des écosystèmes terrestres se manifesteront encore au-delà de la fin du 21<sup>ème</sup> siècle.

Les impacts climatiques sont divers, certains pouvant être bénéfiques mais, par contre, il n'y a pas de mesure objective de quand un seuil dangereux est atteint. Une discussion sur les mérites d'objectifs spécifiques est au-delà de la portée de cette évaluation.

Une approche permettant de tendre vers une stabilisation du climat serait la géo-ingénierie, définie comme l'intervention délibérée à grande échelle dans le système terrestre pour lutter contre les effets indésirables du changement climatique sur la planète :

- La réduction des émissions de CO<sub>2</sub> grâce à l'installation de puits de carbone artificiels pourrait être une option, bien que la grande échelle nécessaire pour réduire le CO<sub>2</sub> de manière significative est une limite sérieuse ;
- Une autre approche consiste à gérer le rayonnement solaire par l'injection d'aérosols dans l'atmosphère qui permettraient de réduire le forçage radiatif ;
- Les tentatives d'influer sur la couverture nuageuse et la luminosité sont également prévues, mais celles-ci ne répondent pas aux autres problèmes provoqués par l'augmentation des émissions de CO<sub>2</sub>, comme l'acidification des océans.

## 5.5 Comment les événements extrêmes seront-ils affectés par le changement climatique ?

Évaluer les changements dans les événements climatiques extrêmes pose des défis difficiles, pas seulement à cause de la rareté de ces événements, mais parce qu'ils se produisent toujours en conjonction avec des conditions de rupture. Ils sont fortement influencés à la fois par des conditions météorologiques à petite et à grande échelle, par les modes de variabilité, les processus thermodynamiques, des effets de rétroaction terre-atmosphère et les conditions antérieures. Cependant, beaucoup de progrès ont été réalisés depuis l'évaluation de 2007.

Pour le court et le long terme, les projections de scénarios confirment une *nette tendance* à l'augmentation des épisodes de fortes précipitations, mais avec de grandes variations régionales. Il y a de *nouvelles preuves* que l'influence du forçage anthropique peut être détecté séparément de l'influence de forçage naturel à l'échelle mondiale et dans certaines régions continentales et sous- continentales.

Pour les *événements extrêmes* tels que les inondations, les sécheresses et les cyclones, il y a encore *beaucoup d'incertitudes* quand il s'agit d'établir une tendance de changement ou d'établir des projections. Dans les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre les plus élevées, ce qui induirait les changements de températures et de précipitations les plus importants, les projections indiquent un risque accru de sécheresse au cours du 21ème siècle dans les régions qui sont déjà sèches.

**Niveau des mers :** Il est *probable* que l'ampleur des événements de hausse extrême du niveau de la mer a augmenté depuis 1970 et que la plupart de ces hausses s'expliquent par l'augmentation du niveau moyen de la mer. Avec le niveau de la mer qui devrait continuer à augmenter au cours du 21ème siècle, il est *très probable* qu'il y aura plus d'augmentation dans les extrêmes du niveau des mers.

**Sécheresses :** Une évaluation actualisée des observations indique que les conclusions des rapports antérieurs concernant la tendance à la hausse mondiale des sécheresses hydrologiques depuis les années 1970 *ne sont plus supportées*. Il y a maintenant un *faible degré de confiance* dans l'attribution des changements dans les sécheresses sur la planète depuis le milieu du 20e siècle à l'influence humaine.

## 6. Quelles sont les principales incertitudes concernant le changement climatique ?

L'influence humaine a été détectée dans presque toutes les grandes composantes évaluées du système climatique. Pris ensemble, les résultats combinés disponibles augmentent le niveau global de confiance dans l'attribution des changements climatiques observés, et réduit les incertitudes liées à une évaluation fondée sur une variable climatique unique. La cohérence des changements observés avec des simulations de forçages anthropiques et naturels dans le système physique est remarquable.

De ces éléments de preuve combinés, il est *pratiquement certain* que l'influence humaine a réchauffé le système climatique mondial. L'influence anthropique a été identifiée dans les changements de température proches de la surface de la terre, dans l'atmosphère et dans les océans, ainsi que des changements dans la cryosphère (glaciers, calottes glaciaires et pergélisol), le cycle de l'eau et les conditions climatiques extrêmes. Pour les températures annuelles moyennes de l'hémisphère Nord, la période 1983-2012 a été *très probablement* la période de 30 ans la plus chaude des 800 dernières années (*degré de confiance élevé*) et *probablement* la période de 30 ans la plus chaude des 1400 dernières années (*confiance*

*moyenne*). Ceci est soutenu par la comparaison des températures observées par les instruments avec de multiples reconstructions d'une variété de données indirectes et de méthodes statistiques.

Sur tous les continents sauf l'Antarctique, l'influence anthropique a *probablement* apporté une contribution substantielle à l'augmentation de la température de la surface terrestre depuis le milieu du 20<sup>ème</sup> siècle.

Il y a aussi *des preuves solides* qui excluent le forçage radiatif d'origine solaire, les volcans et la variabilité interne comme principaux moteurs du réchauffement climatique depuis 1950.

Cependant, *une série d'incertitudes demeurent*. La compréhension des sources et les moyens de caractériser les incertitudes dans les projections de grande envergure à long terme du changement climatique n'a pas beaucoup changé depuis le rapport précédent, mais de nouvelles expériences et études ont continué à faire avancer vers une caractérisation plus complète et rigoureuse.

## **6.1 Quelles sont les principales incertitudes liées à l'observation de changements dans le système climatique ?**

La capacité des modèles climatiques à simuler la température de surface s'est améliorée à bien des égards mais il reste quelques problèmes qui avaient été identifiés dans le rapport précédent (AR4).

Il y a toujours un degré très élevé de confiance dans la capacité des modèles à reproduire à large échelle les données observées de température de surface de temps moyennes, mais des erreurs systématiques de plusieurs degrés Celsius sont observées pour certaines régions. Il est *fort probable* qu'à l'échelle régionale (sous- continentale et en dessous), l'évolution temporelle de la température moyenne de surface est mieux simulée que dans le rapport précédent AR4, mais *le degré de confiance* dans la capacité du modèle régional est *inférieur* à celui à grande échelle.

Par ailleurs, les modèles continuent à être moins performants pour les précipitations que pour la température de surface. Il y a un *très haut degré de confiance* dans le fait que le principal facteur de sensibilité contribuant à la propagation de l'équilibre climatique continue à être l'effet de rétroaction produit par les nuages. Il y a en effet un *très grand degré* de confiance dans le fait que, conformément aux observations, les modèles montrent une forte corrélation positive entre la température de la troposphère et celle de la vapeur d'eau de l'échelle régionale à l'échelle mondiale.

Cependant, la capacité de simuler les changements dans la fréquence et l'intensité des *événements extrêmes* reste limitée. Il existe en effet un certain nombre d'incertitudes quand il s'agit de certains éléments des changements observés dans le système climatique :

- le *faible degré de confiance* dans la «structure verticale» du réchauffement de la basse atmosphère et du refroidissement de la haute atmosphère ;
- les données *incomplètes* sur les changements mondiaux au niveau des précipitations ;
- une *ambiguïté substantielle* sur la variabilité des nuages ;
- le *faible degré de confiance* dans la tendance observée pour les sécheresses ;
- le *faible degré de confiance* dans les changements à long terme pour les cyclones tropicaux ;
- la *grande variabilité* entre les années de la circulation atmosphérique à grande échelle, ce qui rend l'observation de leurs modèles-types difficile ;

- la *mauvaise caractérisation* dans l'historique de la température de la couche supérieure de l'océan (0 - 700 m) ;
- l'*échantillonnage trop limité* pour pouvoir estimer la température l'océan au niveau mondial et la chaleur absorbée annuellement par l'océan dans les profondeurs sous les 700 m avant 2005 ; et au-delà de 2000 m, les observations sont encore limitées.
- L'observation continue de la circulation océanique reste limitée.
- À l'échelle mondiale, la perte de masse par la fonte des glaciers et des calottes glaciaires n'est *pas encore complètement évaluée*. Les plus *grandes incertitudes* viennent de l'Antarctique où les observations concernant les banquises sont également insuffisantes.

## 6.2 Quelles sont les principales incertitudes dans les moteurs-clés du changement climatique ?

- Les incertitudes concernant la façon dont les aérosols interagissent avec les nuages restent la principale incertitude concernant l'influence de l'homme dans l'impact des gaz à effet de serre (forçage) sur l'augmentation de température. Cette interaction est susceptible de contribuer à cette augmentation, mais sa quantification reste *difficile*.
- les reconstitutions historiques du climat et les modèles du système climatique de la terre (modèles du système terrestre) indiquent également qu'il pourrait y avoir une corrélation (appelée "rétroaction positive") entre l'évolution du climat et l'évolution de la concentration en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère, mais le *degré de confiance reste faible* dans la force de cette corrélation.

## 6.3 Quelle sont les incertitudes clés dans la compréhension des récents changements dans le système climatique ?

- Dans certains aspects du système climatique, notamment la sécheresse, l'activité cyclonique, le réchauffement de l'Antarctique, l'étendue des banquises et le bilan de masse des glaciers, le *degré de confiance reste faible* dans l'attribution des changements à l'influence humaine, ceci en raison des *incertitudes de modélisation* et du *faible accord* entre les études scientifiques.
- À l'échelle mondiale, les *incertitudes* dans les observations et dans les forçages, comme celui causé par les aérosols, limite la compréhension de nombreux processus du système climatique : la simulation des nuages et la modélisation du cycle de l'eau restent aussi difficile.



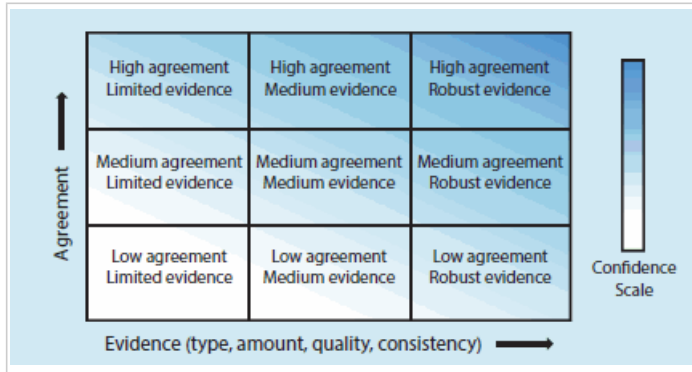
## 6.4 Quelles sont les principales incertitudes liées aux projections globales et régionales du changement climatique ?

- Il y a un *degré de confiance moyen* dans la prévisibilité de la température résultant de la modélisation, à la fois pour la moyenne mondiale et pour certaines régions géographiques.
- Les résultats pour les précipitations indiquent une *faible prévisibilité* générale. Les projections climatiques à court terme sont également limitées par le *faible degré de confiance* dans les projections du forçage radiatif naturel ;
- Il y a un *faible degré de confiance* dans les projections d'un déplacement vers les pôles de la position et de la force des trajectoires des tempêtes dans l'hémisphère Nord ;
- Il y a généralement un *faible degré de confiance* dans les projections de tendances significatives dans la fréquence des cyclones tropicaux et leur intensité dans le 21<sup>ème</sup> siècle.
- Les prévisions de changements dans l'humidité et les ruissellements à la surface des sols ne sont *pas robustes* dans de nombreuses régions ;
- Plusieurs composantes ou les phénomènes de changements abrupts ou non linéaires dans le système climatique restent *difficiles à prévoir* ;
- Il y a un *faible degré de confiance* relatif à l'ampleur des émissions de carbone dans l'atmosphère due à la fonte du pergélisol. Il y a aussi un degré de confiance limité dans l'évaluation des émissions de méthane comme celles provenant de sources naturelles, telles que les zones humides ou les hydrates de gaz.
- Il y a un *degré de confiance moyen* dans l'incidence de la fonte des calottes glaciaires sur le niveau de la mer au cours du 21<sup>ème</sup> siècle, et un manque de confiance dans les projections au-delà de 2100.
- Il y a un *faible degré de confiance* dans les projections des modèles concernant l'élévation du niveau des mers, et aucun consensus dans la communauté scientifique quant à leur fiabilité.
- Il y a un *faible degré de confiance* dans les projections de nombreux aspects du changement climatique au niveau régional.

# Annexe

## Annex 1:

### Box TS.1 - Treatment of Uncertainty

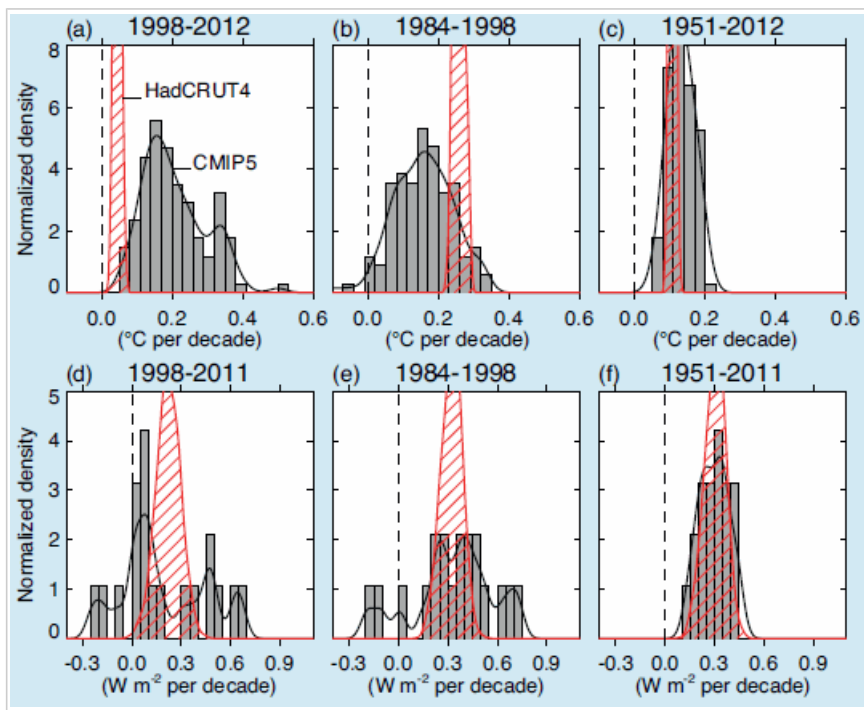


Box TS.1, Figure 1 - A depiction of evidence and agreement statements and their relationship to confidence. Confidence increases toward the top right corner as suggested by the increasing strength of shading. Generally, evidence is most robust when there are multiple, consistent independent lines of high quality.

Source: IPCC Climate Change 2013: Technical Summary [see [http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5\\_TS\\_FINAL.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_TS_FINAL.pdf)], p.36

**Annex 2:**

**Box TS.3, Figure 1 - Trends in temperature changes for the last few decades.**



Box TS.3, Figure 1 | (Top) Observed and simulated GMST trends in °C per decade, over the periods 1998–2012 (a), 1984–1998 (b), and 1951–2012 (c). For the observations, 100 realizations of the Hadley Centre/Climatic Research Unit gridded surface temperature data set 4 (HadCRUT4) ensemble are shown (red, hatched). The uncertainty displayed by the ensemble width is that of the statistical construction of the global average only, in contrast to the trend uncertainties quoted in Section 2.4.3, which include an estimate of internal climate variability. Here, by contrast, internal variability is characterized through the width of the model ensemble. For the models, all 114 available CMIP5 historical realizations are shown, extended after 2005 with the RCP4.5 scenario and through 2012 (grey, shaded). (Bottom) Trends in effective radiative forcing (ERF, in W m<sup>-2</sup> per decade) over the periods 1998–2011 (d), 1984–1998 (e), and 1951–2011 (f). The figure shows AR5 best-estimate ERF trends (red, hatched) and CMIP5 ERF (grey, shaded). Black lines are smoothed versions of the histograms. Each histogram is normalized so that its area sums up to one. {2.4.3, 8.5.2; Box 9.2; Figure 8.18; Box 9.2, Figure 1}

Source: IPCC Climate Change 2013: Technical Summary [see [http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5\\_TS\\_FINAL.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_TS_FINAL.pdf)], p.63

**Annex 3:**

**Figure TS.1 - Multiple complementary indicators of a changing global climate**

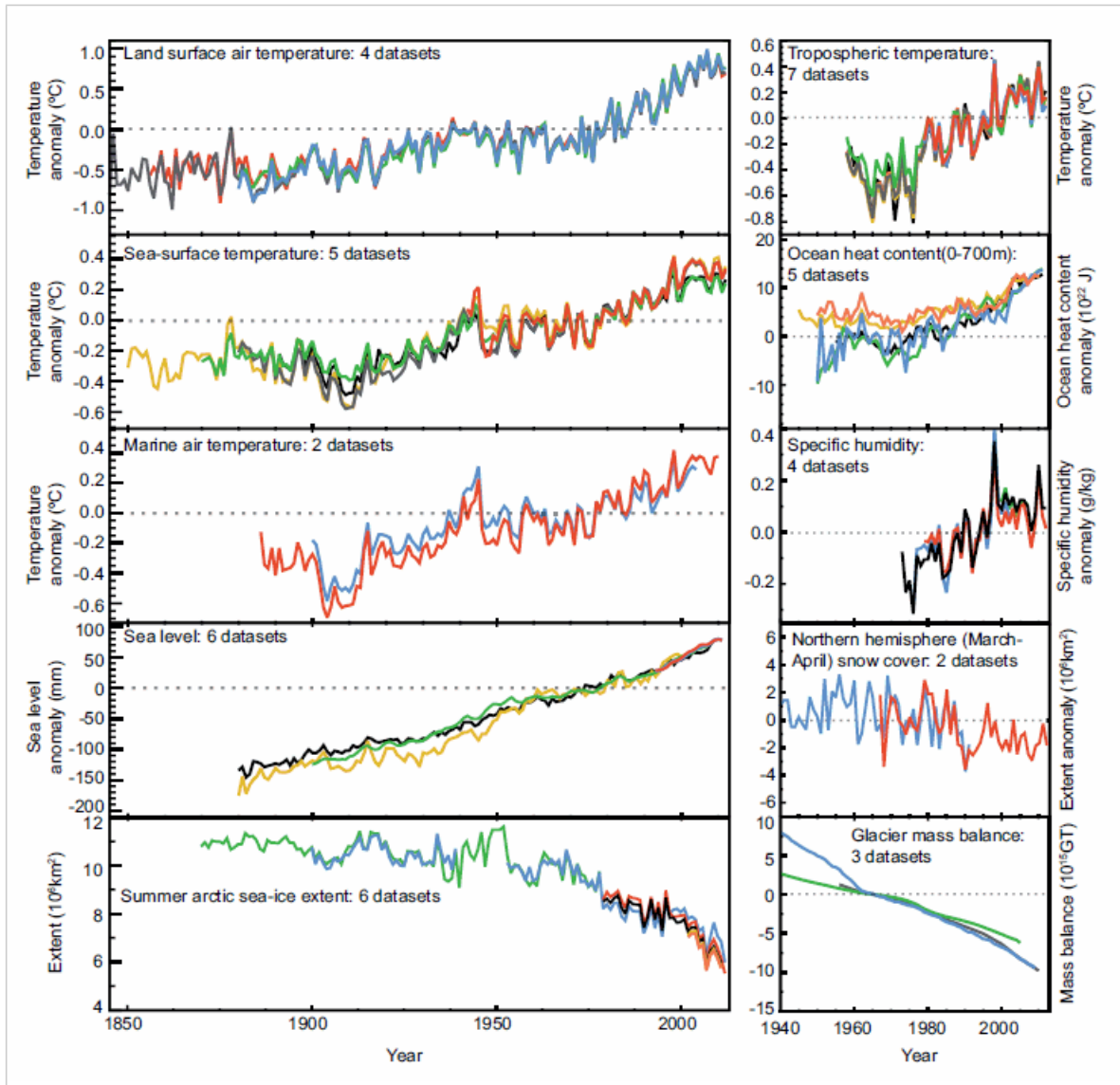


Figure TS.1 - Multiple complementary indicators of a changing global climate. Each line represents an independently derived estimate of change in the climate element. The times series presented are assessed in Chapters 2, 3 and 4. In each panel all data sets have been normalized to a common period of record. A full detailing of which source data sets go into which panel is given in Chapter 2 Supplementary Material Section 2.SM.5 and in the respective chapters. Further detail regarding the related Figure SPM.3 is given in the TS Supplementary Material. {FAQ 2.1, Figure 1; 2.4, 2.5, 3.2, 3.7, 4.5.2, 4.5.3}

Source: IPCC Climate Change 2013: Technical Summary [see [http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5\\_TS\\_FINAL.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_TS_FINAL.pdf)], p.38

**Annex 4:**

**Figure TS.19 - Compatible fossil fuel emissions simulated by the CMIP5 models for the four RCP scenarios**

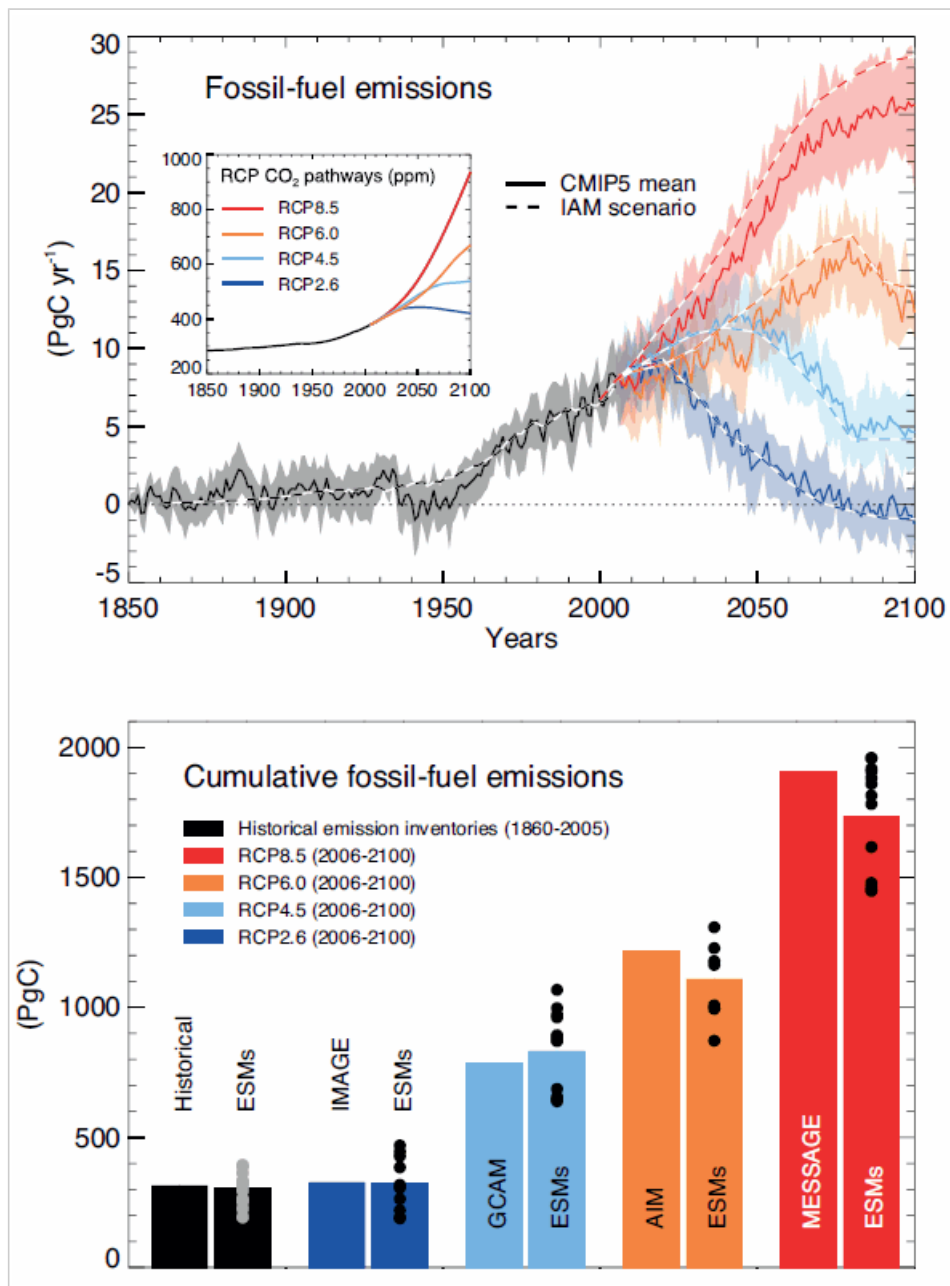


Figure TS.19 - Compatible fossil fuel emissions simulated by the CMIP5 models for the four RCP scenarios. (Top) Time series of annual emission (PgC yr<sup>-1</sup>). Dashed lines represent the historical estimates and RCP emissions calculated by the Integrated Assessment Models (IAMs) used to define the RCP scenarios, solid lines and plumes show results from CMIP5 Earth System Models (ESMs, model mean, with one standard deviation shaded). (Bottom) Cumulative emissions for the historical period (1860–2005) and 21st century (defined in CMIP5 as 2006–2100) for historical estimates and RCP scenarios. Left bars are cumulative emissions from the IAMs, right bars are the CMIP5 ESMs multi-model mean estimate and dots denote individual ESM results. From the CMIP5 ESMs results, total carbon in the land-atmosphere–ocean system can be tracked and changes in this total must equal fossil fuel emissions to the system. Hence the compatible emissions are given by cumulative emissions =  $\Delta CA + \Delta CL + \Delta CO$ , while emission rate =  $d/dt [CA + CL + CO]$ , where CA, CL, CO are carbon stored in atmosphere, land and ocean respectively. Other sources and sinks of CO<sub>2</sub> such as from volcanism, sedimentation or rock weathering, which are very small on centennial time scales are not considered here. {Box 6.4; Figure 6.25}

**Annex 5:**

**Figure TS.6 - Radiative forcing and Effective radiative forcing of climate change during the Industrial Era**

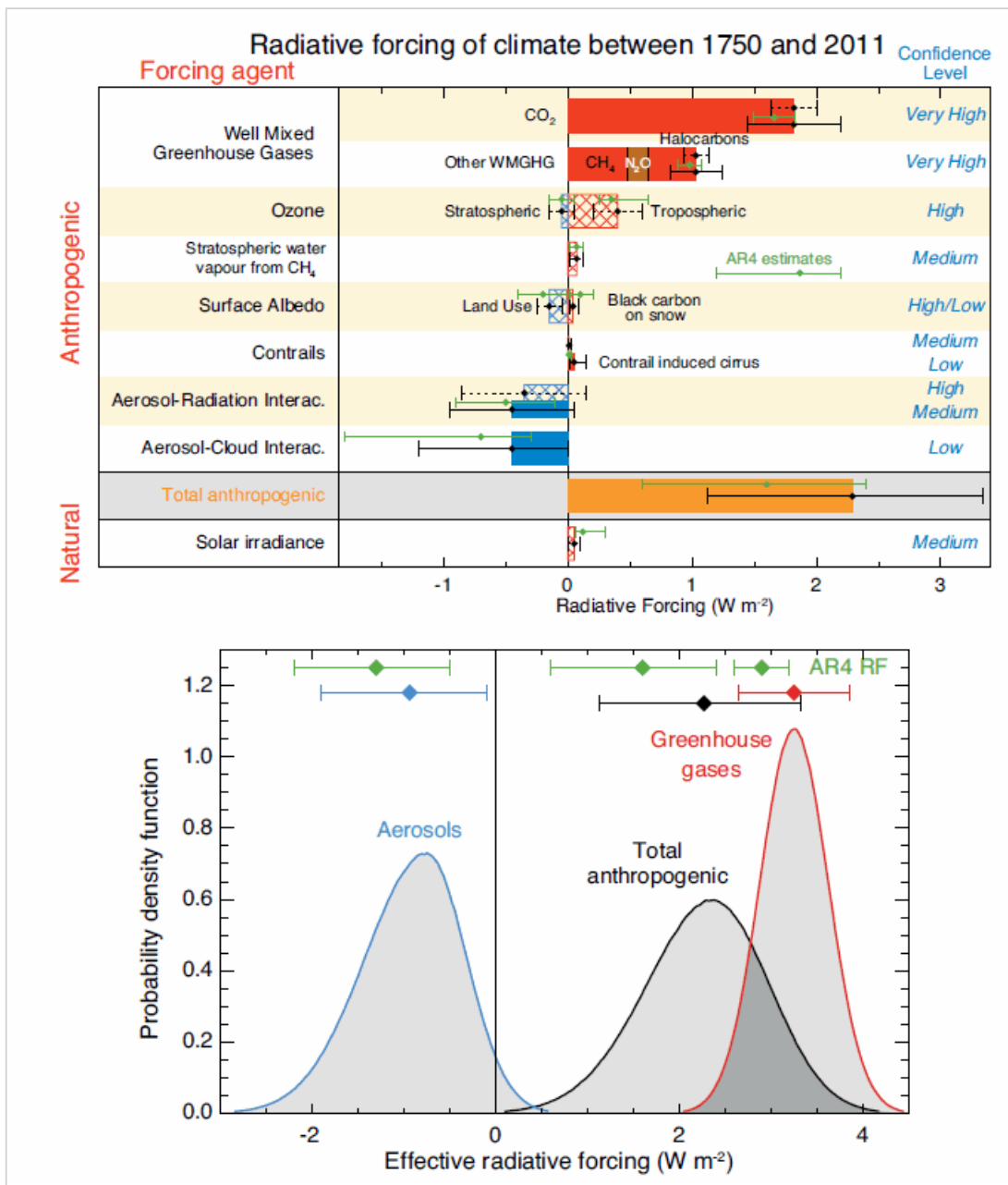


Figure TS.6 - Radiative forcing (RF) and Effective radiative forcing (ERF) of climate change during the Industrial Era. (Top) Forcing by concentration change between 1750 and 2011 with associated uncertainty range (solid bars are ERF, hatched bars are RF, green diamonds and associated uncertainties are for RF assessed in AR4). (Bottom) Probability density functions (PDFs) for the ERF, for the aerosol, greenhouse gas (GHG) and total. The green lines show the AR4 RF 90% confidence intervals and can be compared with the red, blue and black lines which show the AR5 ERF 90% confidence intervals (although RF and ERF differ, especially for aerosols). The ERF from surface albedo changes and combined contrails and contrail-induced cirrus is included in the total anthropogenic forcing, but not shown as a separate PDF. For some forcing mechanisms (ozone, land use, solar) the RF is assumed to be representative of the ERF but an additional uncertainty of 17% is added in quadrature to the RF uncertainty. (Figures 8.15, 8.16)

Source: IPCC Climate Change 2013: Technical Summary [see [http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5\\_TS\\_FINAL.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_TS_FINAL.pdf)], p.54

**Annex 6:**

**Figure TS.7 - Radiative forcing of climate change during the Industrial Era shown by emitted components from 1750 to 2011**

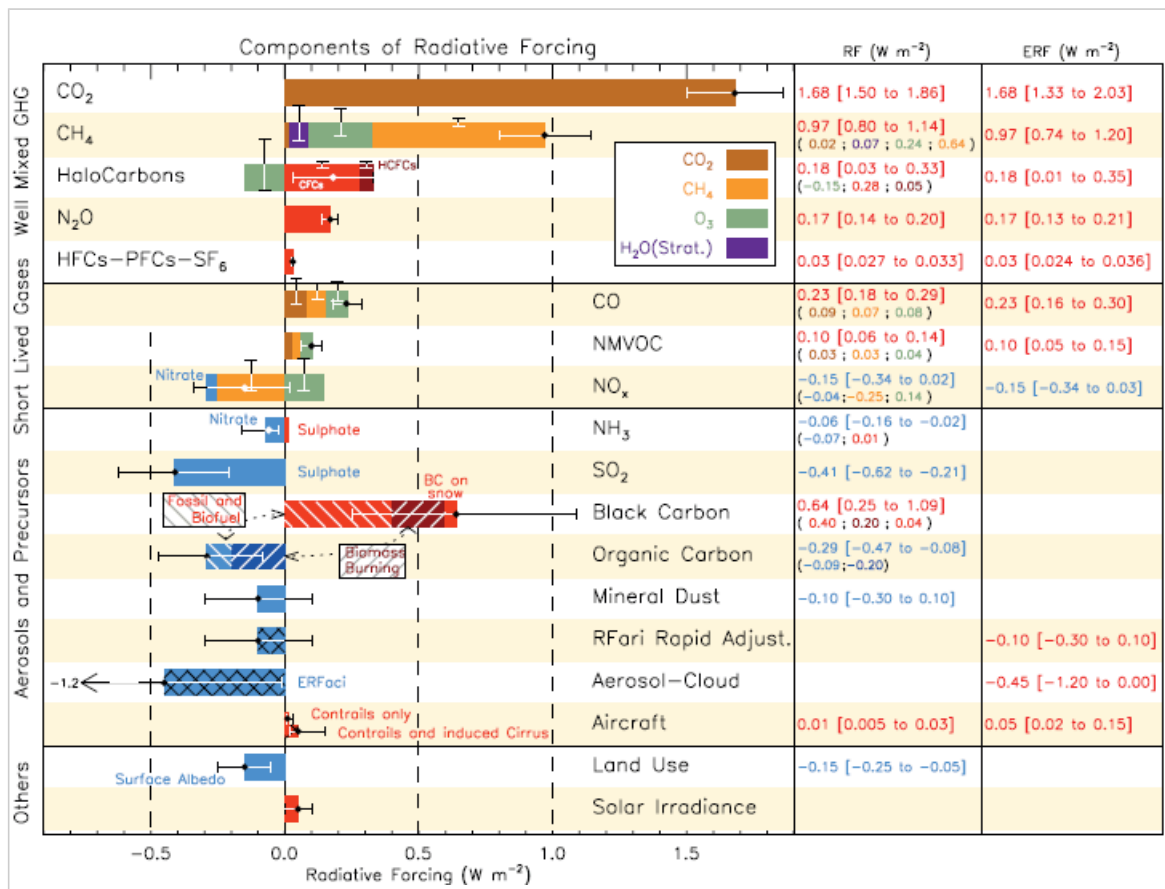


Figure TS.7 - Radiative forcing (RF) of climate change during the Industrial Era shown by emitted components from 1750 to 2011. The horizontal bars indicate the overall uncertainty, while the vertical bars are for the individual components (vertical bar lengths proportional to the relative uncertainty, with a total length equal to the bar width for a ±50% uncertainty). Best estimates for the totals and individual components (from left to right) of the response are given in the right column. Values are RF except for the effective radiative forcing (ERF) due to aerosol–cloud interactions (ERFaci) and rapid adjustment associated with the RF due to aerosol-radiation interaction (RFari Rapid Adjust.). Note that the total RF due to aerosol-radiation interaction (–0.35 Wm<sup>-2</sup>) is slightly different from the sum of the RF of the individual components (–0.33 Wm<sup>-2</sup>). The total RF due to aerosol-radiation interaction is the basis for Figure SPM.5. Secondary organic aerosol has not been included since the formation depends on a variety of factors not currently sufficiently quantified. The ERF of contrails includes contrail induced cirrus. Combining ERFaci –0.45 [–1.2 to 0.0] Wm<sup>-2</sup> and rapid adjustment of ari –0.1 [–0.3 to +0.1] Wm<sup>-2</sup> results in an integrated component of adjustment due to aerosols of –0.55 [–1.33 to –0.06] Wm<sup>-2</sup>. CFCs = chlorofluorocarbons, HCFCs = hydrochlorofluorocarbons, HFCs = hydrofluorocarbons, PFCs = perfluorocarbons, NMVOC = Non-Methane Volatile Organic Compounds, BC = black carbon. Further detail regarding the related Figure SPM.5 is given in the TS Supplementary Material. {Figure 8.17}

Source: IPCC Climate Change 2013: Technical Summary [see [http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5\\_TS\\_FINAL.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_TS_FINAL.pdf)], p.57

**Annex 7:**

**Figure TS.8 - (Upper) Global anthropogenic present-day emissions weighted by the Global Warming Potential and the Global Temperature change Potential**

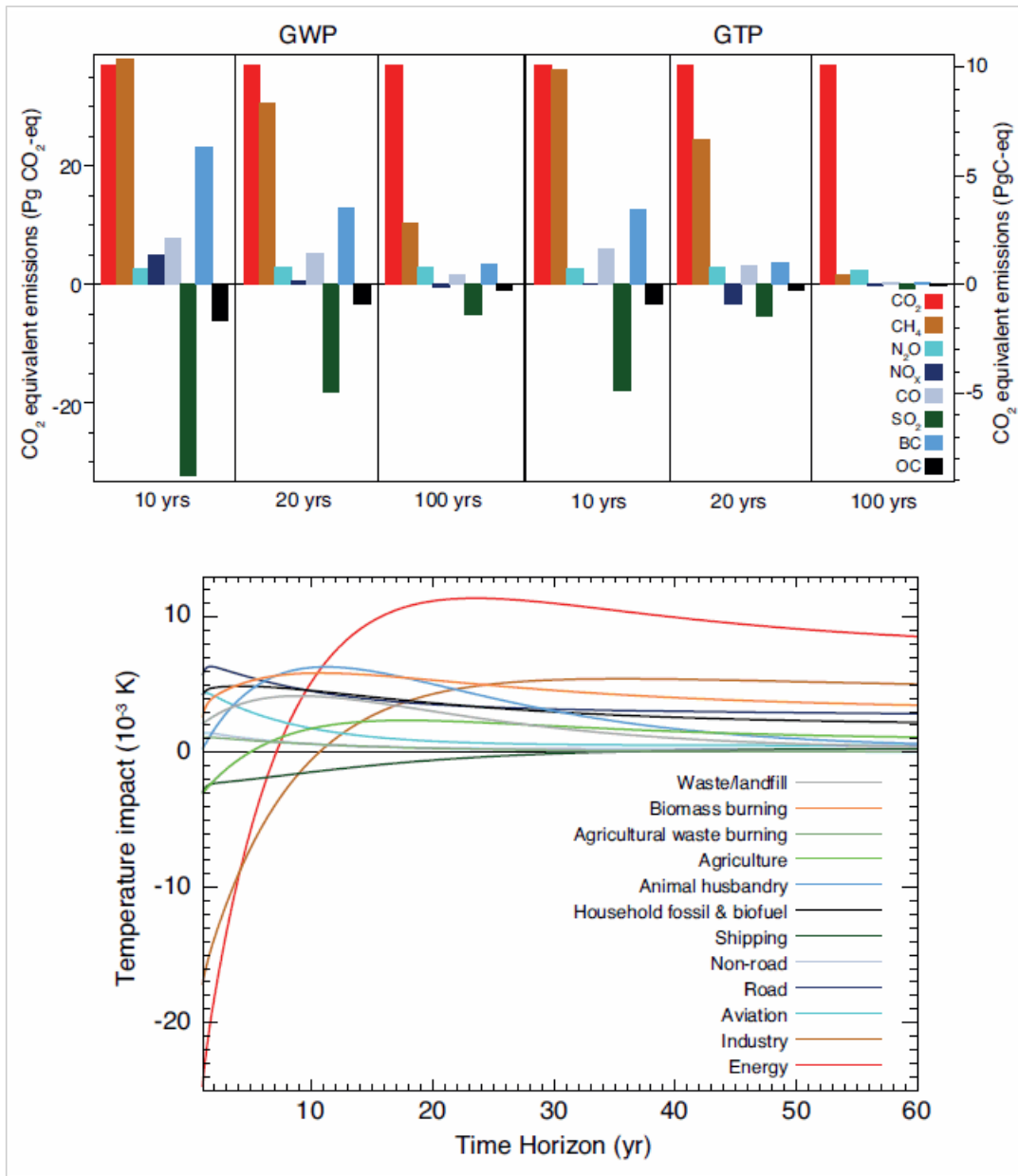
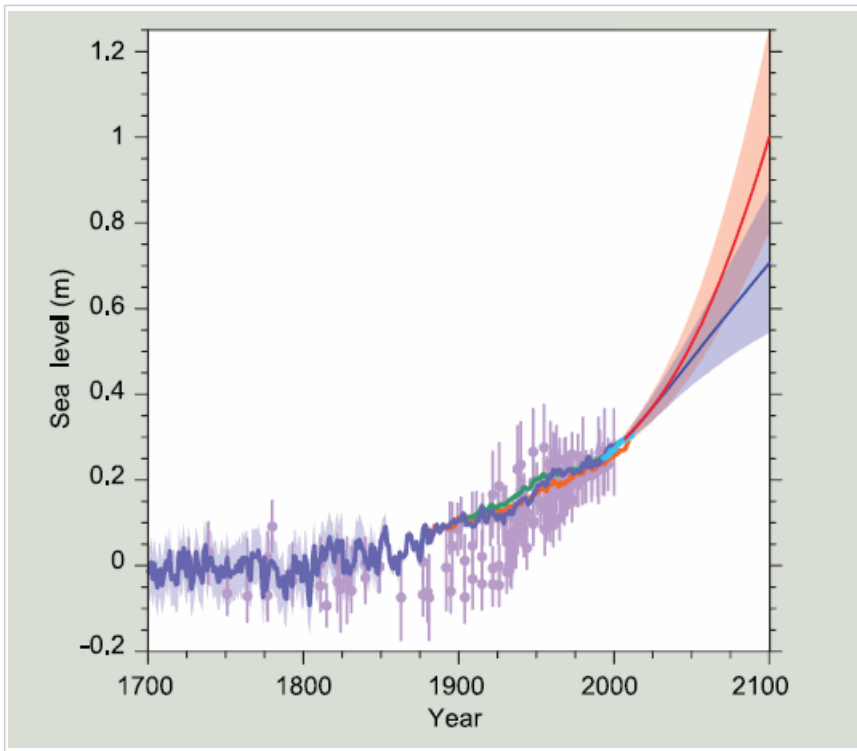


Figure TS.8 - (Upper) Global anthropogenic present-day emissions weighted by the Global Warming Potential (GWP) and the Global Temperature change Potential (GTP) for the chosen time horizons. Year 2008 (single-year pulse) emissions weighted by GWP, which is the global mean radiative forcing (RF) per unit mass emitted integrated over the indicated number of years relative to the forcing from CO<sub>2</sub> emissions, and GTP which estimates the impact on global mean temperature based on the temporal evolution of both RF and climate response per unit mass emitted relative to the impact of CO<sub>2</sub> emissions. The units are 'CO<sub>2</sub> equivalents', which reflects equivalence only in the impact parameter of the chosen metric (integrated RF over the chosen time horizon for GWP; temperature change at the chosen point in time for GTP), given as Pg(CO<sub>2</sub>)eq (left axis) and PgCeq (right axis). (Bottom) The Absolute GTP (AGTP) as a function of time multiplied by the present-day emissions of all compounds from the indicated sectors is used to estimate global mean temperature response (AGTP is the same as GTP, except is not normalized by the impact of CO<sub>2</sub> emissions). There is little change in the relative values for the sectors over the 60 to 100-year time horizon. The effects of aerosol–cloud interactions and contrail-induced cirrus are not included in the upper panel. {Figures 8.32, 8.33}



## Annex 8:

### TFE.2, Figure 2 - Compilation of paleo sea level data

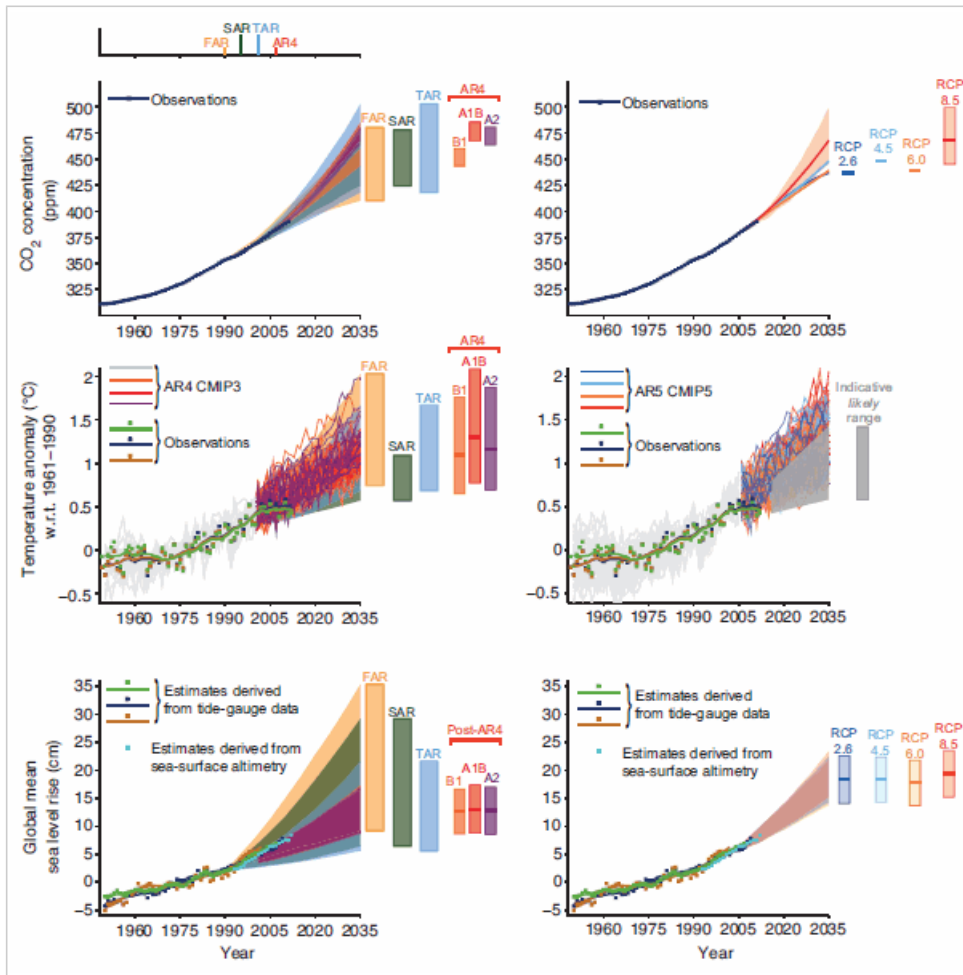


TFE.2, Figure 2 - Compilation of paleo sea level data (purple), tide gauge data (blue, red and green), altimeter data (light blue) and central estimates and likely ranges for projections of global mean sea level rise from the combination of CMIP5 and process-based models for RCP2.6 (blue) and RCP8.5 (red) scenarios, all relative to pre-industrial values. {Figures 13.3, 13.11, 13.27}

Source: IPCC Climate Change 2013: Technical Summary [see [http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5\\_TS\\_FINAL.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_TS_FINAL.pdf)], p.49

## Annex 9:

### TFE.3, Figure 1 - Observed globally and annually averaged CO<sub>2</sub> concentrations in parts per million since 1950 compared with projections from the previous IPCC assessments. Observed global annual CO<sub>2</sub> concentrations are shown in dark blue.



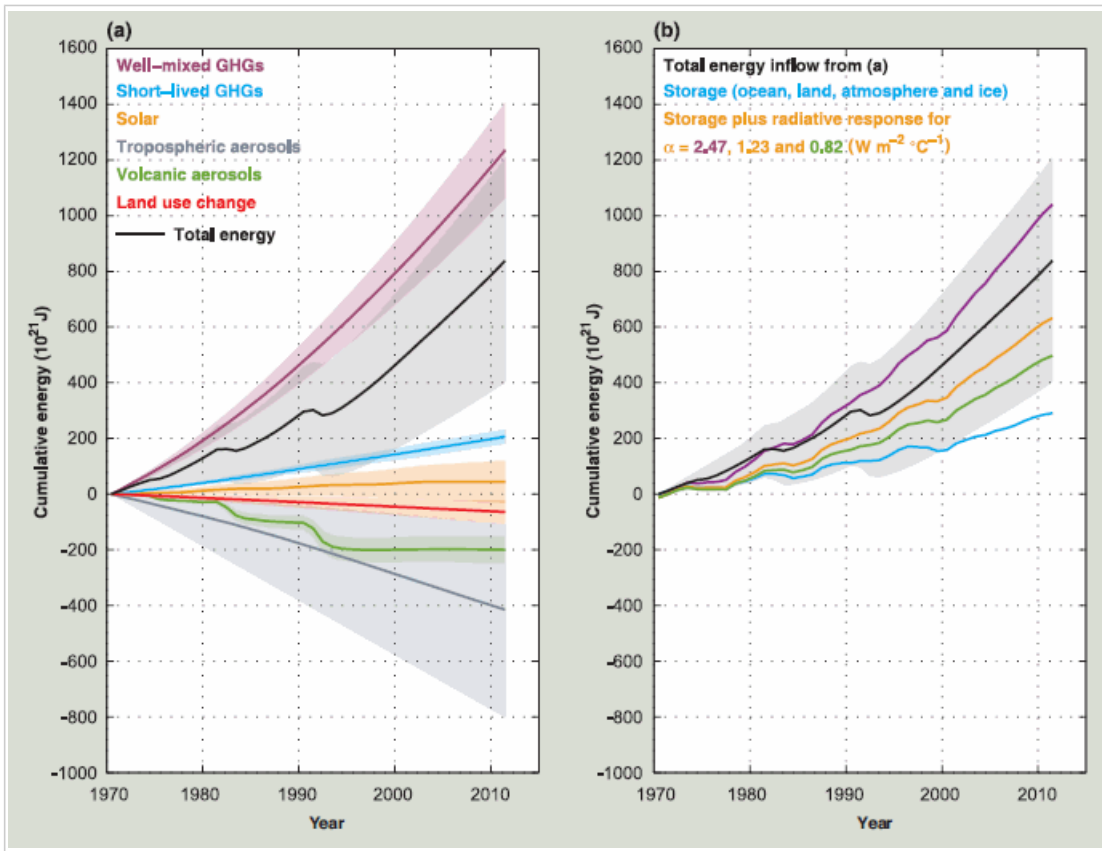
TFE.3, Figure 1 - (Top left) Observed globally and annually averaged CO<sub>2</sub> concentrations in parts per million (ppm) since 1950 compared with projections from the previous IPCC assessments. Observed global annual CO<sub>2</sub> concentrations from 1950 to 2035 are shown in dark blue. The shading shows the largest model projected range of global annual CO<sub>2</sub> concentrations from 1950 to 2035 from FAR (First Assessment Report; Figure A.3 in the Summary for Policymakers (SPM) of IPCC 1990), SAR (Second Assessment Report; Figure 5b in the TS of IPCC 1996), TAR (Third Assessment Report; Appendix II of IPCC 2001), and for the IPCC Special Report on Emission Scenarios (SRES) A2, A1B and B1 scenarios presented in the AR4 (Fourth Assessment Report; Figure 10.26). The publication years of the assessment reports are shown. (Top right) Same observed globally averaged CO<sub>2</sub> concentrations and the projections from this report. Only RCP8.5 has a range of values because the emission-driven scenarios were carried out only for this RCP. For the other RCPs the best estimate is given. (Middle left) Estimated changes in the observed globally and annually averaged surface temperature anomaly relative to 1961–1990 (in °C) since 1950 compared with the range of projections from the previous IPCC assessments. Values are harmonized to start from the same value at 1990. Observed global annual temperature anomaly, relative to 1961–1990, from three data sets is shown as squares and smoothed time series as solid lines from the Hadley Centre/Climatic Research Unit gridded surface temperature data set 4 (HadCRUT4; bright green), Merged Land–Ocean Surface Temperature Analysis (MLOST; warm mustard) and Goddard Institute for Space Studies Surface Temperature Analysis (GISTEMP; dark blue) data sets. The coloured shading shows the projected range of global annual mean near surface temperature change from 1990 to 2035 for models used in FAR (Figure 6.11), SAR (Figure 19 in the TS of IPCC 1996), TAR (full range of TAR, Figure 9.13(b)). TAR results are based on the simple climate model analyses presented in this assessment and not on the individual full three-dimensional climate model simulations. For the AR4 results are presented as single model runs of the CMIP3 ensemble for the historical period from 1950 to 2000 (light grey lines) and for three SRES scenarios (A2, A1B and B1) from 2001 to 2035. For the three SRES scenarios the bars show the CMIP3 ensemble mean and the likely range given by –40 % to +60% of the mean as assessed in Chapter 10 of AR4. (Middle right) Projections of annual mean global mean surface air temperature (GMST) for 1950–2035 (anomalies relative to 1961–1990) under different RCPs from CMIP5 models (light grey and coloured lines, one ensemble member per model), and observational estimates the same as the middle left panel. The grey shaded region shows the

indicative likely range for annual mean GMST during the period 2016–2035 for all RCPs (see Figure TS.14 for more details). The grey bar shows this same indicative likely range for the year 2035. (Bottom left) Estimated changes in the observed global annual mean sea level (GMSL) since 1950. Different estimates of changes in global annual sea level anomalies from tide gauge data (dark blue, warm mustard, dark green) and based on annual averages of altimeter data (light blue ) starting in 1993 (the values have been aligned to fit the 1993 value of the tide gauge data). Squares indicate annual mean values, solid lines smoothed values. The shading shows the largest model projected range of global annual sea level rise from 1950 to 2035 for FAR (Figures 9.6 and 9.7), SAR (Figure 21 in TS of IPCC, 1996), TAR (Appendix II of IPCC, 2001) and based on the CMIP3 model results available at the time of AR4 using the SRES A1B scenario. Note that in the AR4 no full range was given for the sea level projections for this period. Therefore, the figure shows results that have been published subsequent to the AR4. The bars at the right hand side of each graph show the full range given for 2035 for each assessment report. (Bottom right) Same observational estimate as bottom left. The bars are the likely ranges (medium confidence) for global mean sea level rise at 2035 with respect to 1961–1990 following the four RCPs. Appendix 1.A provides details on the data and calculations used to create these figures. See Chapters 1, 11 and 13 for more details. {Figures 1.4, 1.5, 1.10, 11.9, 11.19, 11.25, 13.11}

*Source: IPCC Climate Change 2013: Technical Summary [see [http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5\\_TS\\_FINAL.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_TS_FINAL.pdf)], p.64*

**Annex 10:**

**TFE.4, Figure 1 - The Earth's energy budget from 1970 through 2011**



TFE.4, Figure 1- The Earth's energy budget from 1970 through 2011. (a) The cumulative energy inflow into the Earth system from changes in well-mixed and shortlived greenhouse gases, solar forcing, tropospheric aerosol forcing, volcanic forcing and changes in surface albedo due to land use change (all relative to 1860–1879) are shown by the coloured lines; these contributions are added to give the total energy inflow (black; contributions from black carbon on snow and contrails as well as contrail-induced cirrus are included but not shown separately). (b) The cumulative total energy inflow from (a, black) is balanced by the sum of the energy uptake of the Earth system (blue; energy absorbed in warming the ocean, the atmosphere and the land, as well as in the melting of ice) and an increase in outgoing radiation inferred from changes in the global mean surface temperature. The sum of these two terms is given for a climate feedback parameter  $\alpha$  of 2.47, 1.23 and 0.82  $W m^{-2} \cdot C^{-1}$ , corresponding to an equilibrium climate sensitivity of 1.5°C, 3.0°C and 4.5°C, respectively; 1.5°C to 4.5°C is assessed to be the likely range of equilibrium climate sensitivity. The energy budget would be closed for a particular value of  $\alpha$  if the corresponding line coincided with the total energy inflow. For clarity, all uncertainties (shading) shown are likely ranges. {Box 12.2; Box 13.1, Figure 1}

Source: IPCC Climate Change 2013: Technical Summary [see [http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5\\_TS\\_FINAL.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_TS_FINAL.pdf)], p.67