



Conseil économique et social

Distr. générale
28 avril 2016
Français
Original : anglais

Commission économique pour l'Europe

Comité des transports intérieurs

Groupe de travail chargé d'examiner les tendances et l'économie des transports

Groupe d'experts chargé d'étudier les effets des changements climatiques et l'adaptation à ces changements dans les réseaux et nœuds de transports internationaux

Dixième session

Genève, 7-8 juillet 2016

Point 4 de l'ordre du jour provisoire

Débat sur la structure du rapport final du Groupe d'experts

Aperçu des tendances récentes et des projections en matière de changements climatiques ayant une incidence sur les transports dans la région de la CEE (première partie)

Note du secrétariat

I. Introduction

1. Le présent document a été établi sur la base des activités et des résultats prévus au titre du module : « Tendances et économie des transports (y compris les liaisons de transport Europe-Asie) » du programme de travail du sous-programme « Transports » pour la période 2016-2017 (ECE/TRANS/2016/28/Add.1, par. 22) et du Mandat du Groupe d'experts chargé d'étudier les effets des changements climatiques et l'adaptation à ces changements dans les réseaux et nœuds de transport internationaux de la Commission économique pour l'Europe (CEE) (ECE/TRANS/2015/6), tel qu'adopté par le Comité des transports intérieurs à la session qu'il a tenue du 24 au 26 février 2015 (ECE/TRANS/248, par. 34).



II. Changements climatiques : tendances récentes et projections

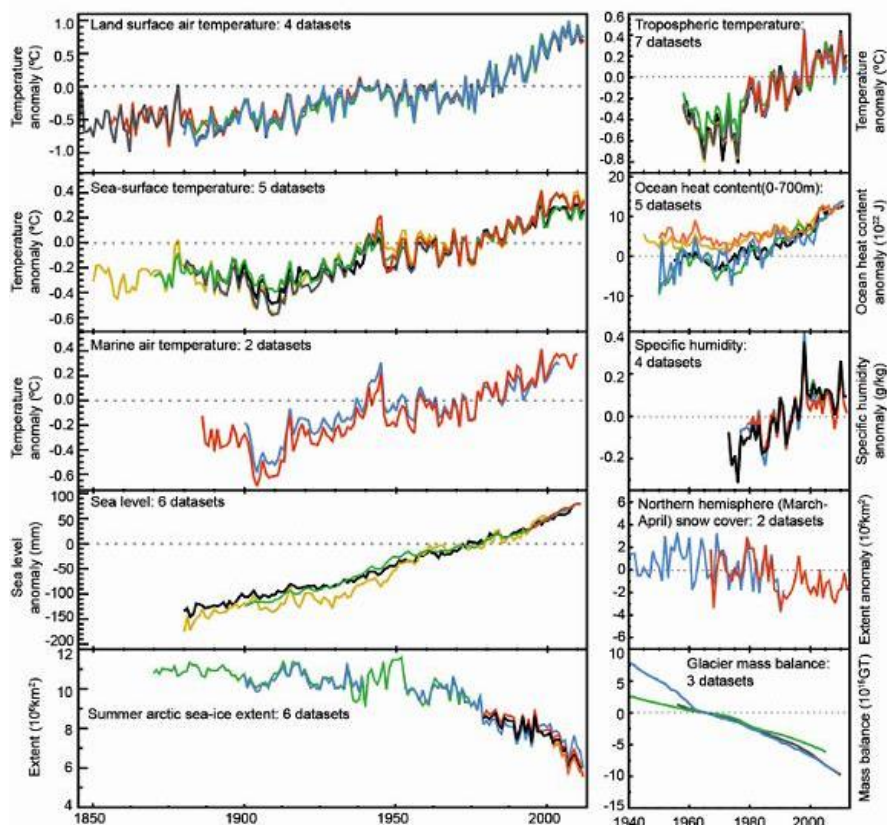
A. Tendances climatiques

2. Les données sur le climat qui sont ici présentées concernent la période la plus récente (la dernière décennie). Certaines de ces données (les tendances et projections en matière de changements climatiques jusqu'en 2013) ont été soumises dans le rapport précédent de la CEE (CEE, 2013) ; dans le présent (projet de) rapport, l'accent est mis sur la période la plus récente (2011-2015) de même que sur les tendances et projections pluriannuelles que l'on voit aujourd'hui se dégager en termes de variabilité et de changements climatiques. Les preuves sont innombrables d'un réchauffement de la planète depuis le XIX^e siècle, de la haute atmosphère jusqu'aux grands fonds marins, comme en attestent des scientifiques indépendants. Le plus souvent, le débat sur les changements climatiques est essentiellement centré autour de la hausse des températures sur la terre ferme, qui ne constitue que l'un des indicateurs des changements climatiques, les autres étant la température de l'atmosphère et des océans, le niveau de la mer, les précipitations et les couvertures glaciaire et neigeuse, ainsi que celle de la glace de mer (fig. 1).

Figure 1

Évolution des changements climatiques

(Chaque ligne reflète l'estimation, calculée de façon indépendante, de l'évolution d'un élément climatique. Dans chacun des graphiques ci-dessous, tous les jeux de données ont été normalisés pour rendre compte d'une même période de relevés (GIEC¹, 2013)).



¹ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

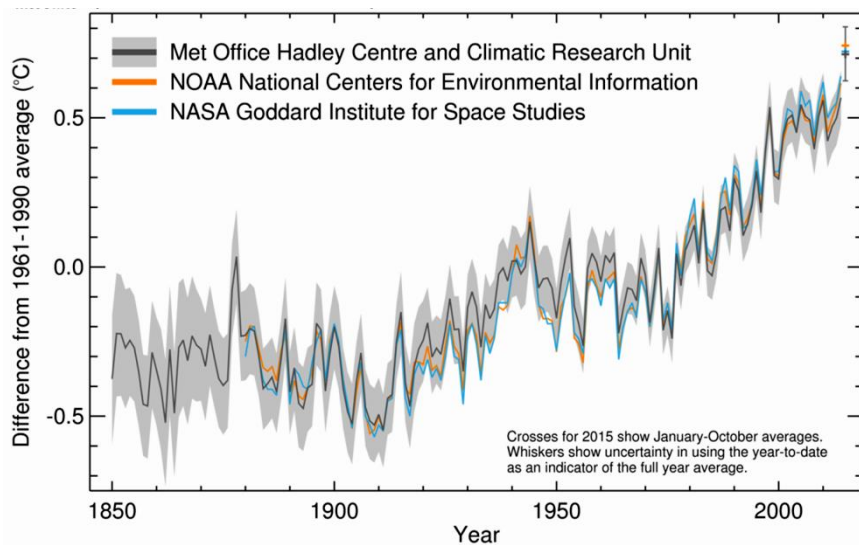
3. Les dernières décennies ont été témoins d'une hausse de la température dans la troposphère. Les océans, qui pourraient avoir absorbé plus de 80 % de l'énergie excédentaire liée aux émissions en hausse depuis les années 1970, accusent un accroissement significatif de leur contenu thermique (GIEC, 2013 ; Melillo et al., 2014) ; il en a résulté une augmentation du niveau des mers dû à l'effet stérique, considéré comme le facteur principal de cet accroissement (Hanna et al., 2013). Dans le même temps, les couvertures glaciaire et neigeuse, et celle de la glace des mers ont décliné au cours des quelques dernières décennies. La glace de l'Arctique a perdu plus de 40 % de sa couverture depuis les premiers relevés satellitaires, qui remontent à 1978, principalement à la fin (septembre) de la saison annuelle de la fonte des glaces (Melillo et al., 2014). Dans l'hémisphère Nord, la couverture neigeuse diminue au printemps depuis les années 1950, et les glaciers n'ont pas cessé de reculer depuis les vingt dernières années (GIEC, 2013).

1.1.1 Température et précipitations

4. En matière de changements climatiques, la température près de la surface est l'indicateur le plus fréquemment cité en moyenne annuelle. Même si chaque année (ou chaque décennie) n'est pas forcément plus chaude que les précédentes, on observe une tendance au réchauffement sur le long terme (fig. 2). C'est à partir de 2001 qu'ont été enregistrées la plupart des seize années les plus chaudes depuis 1880 (date de début des relevés), 2015 ayant été l'année record en la matière dans les relevés (avec 94 % de certitude) (NASA², 2016). En moyenne annuelle, on a pu observer en 2015 une hausse de $0,76 \pm 0,09$ °C de la température à la surface des terres et des océans par rapport à la moyenne des températures de la période 1961-1990. Précédemment, 2014 avait été l'année record au niveau mondial, lorsque la température moyenne de la planète s'était accrue de $0,56 \pm 0,1$ °C par rapport à la moyenne de la période 1961-1990 (MetOffice, 2014). Des températures records ont été largement enregistrées dans la partie ouest de l'Amérique du Nord, en Europe septentrionale, méridionale et orientale, en Asie de l'ouest, dans l'océan Indien, dans certaines parties de l'océan Arctique et dans la partie ouest de l'Atlantique Nord.

² National Aeronautics and Space Administration.

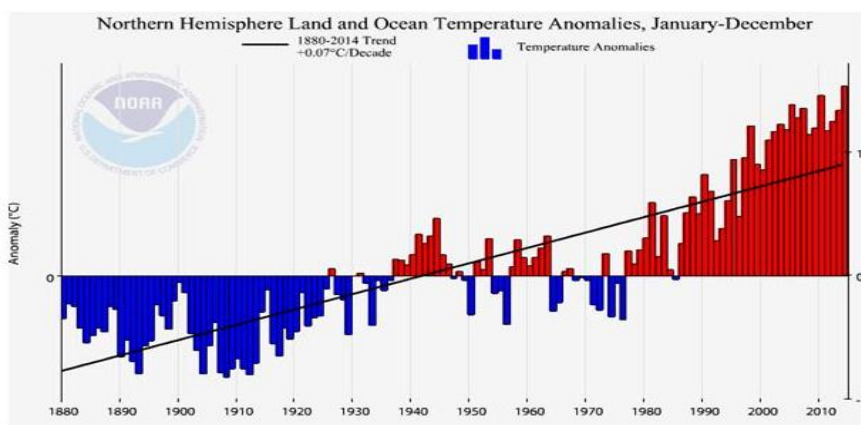
Figure 2
Température mondiale moyenne à la surface du globe pour la période 1850-octobre 2015, avec les zones d'incertitude s'y rapportant
 (Effet d'ombre en grisé)



Source : HadCRUT4, NOAA³-GlobalTemp, NASA-GISS⁴ (OMM⁵, 2016).

5. Depuis la fin du XX^e siècle, on observe un ralentissement de la tendance à la hausse des températures dans le monde (fig. 3) par comparaison avec les projections des modèles climatiques mondiaux. Cette divergence (le hiatus climatique) a été attribuée à des incertitudes dans les simulations liées entre autres au forçage climatique externe (GIEC, 2013), notamment dû aux éruptions volcaniques, à la variation de la quantité de vapeur d'eau dans la stratosphère, aux aérosols industriels, à l'activité solaire, et à la variabilité d'une année sur l'autre ou à l'échelle décennale des cycles océaniques (du type d'El Niño et de La Niña) (MetOffice, 2014).

Figure 3
Tendances que traduisent les anomalies constatées dans les relevés de température terrestre et océanique entre 1880 et 2014
 (NOAA, 2016a)



³ Administration océanique et atmosphérique nationale.

⁴ NASA Goddard Institute for Space Studies.

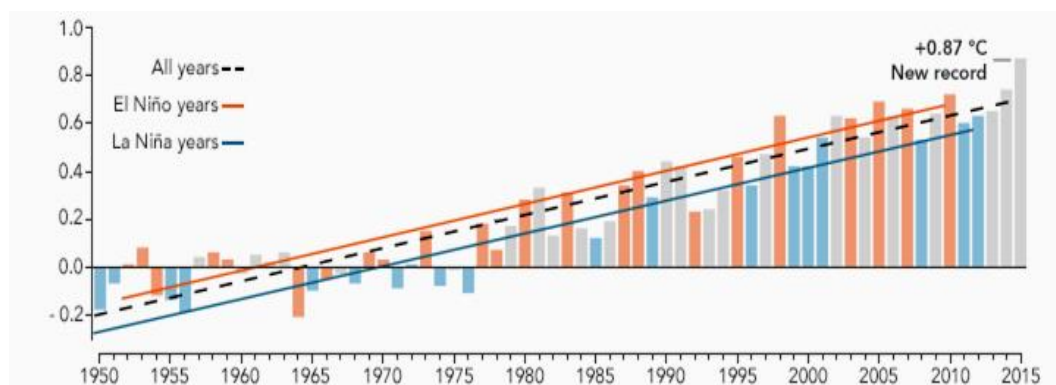
⁵ Organisation météorologique mondiale.

6. On a observé que les années débutant pendant un épisode El Niño étaient plus chaudes qu'en dehors d'un tel épisode (années neutres ou années La Niña) (fig. 4). La température record de 2015 a subi l'influence d'un épisode El Niño particulièrement marqué dans le Pacifique, et les températures annoncées pour 2016 devraient également être élevées (NASA, 2016). Par comparaison, alors que 2014 a été une année neutre, les températures à la surface du globe ont accusé une anomalie de $0,88 \pm 0,20$ °C par rapport à la moyenne de 1961-1990 selon les estimations de la NOAA (OMM, 2014). Cependant, des recherches récentes (notamment Cowtan et Way, 2014 ; Karl et al., 2015) ont conduit à mettre en doute le ralentissement de la tendance à la hausse des températures. Leurs auteurs évoquent des déviations dans les jeux de données relatifs à la température de surface et constatent qu'une nouvelle analyse des données corrigées/actualisées montre des tendances mondiales supérieures à celles qu'annoncent les études antérieures (GIEC, 2013, entre autres).

Figure 4

Températures annuelles comparées à la moyenne de la période 1951-1980

(Les années à Niño sont signalées en rouge et les années à Niña en bleu. Les lignes continues bleues et rouges représentent la tendance. Les années neutres sont signalées en gris ; la ligne en pointillés représente la moyenne générale depuis 1950 (NASA, 2016)).

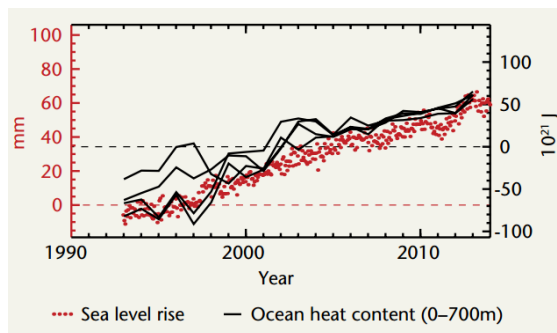


7. Le climat est régi par les apports et les sorties de chaleur et par la dynamique de sa conservation dans les différents éléments constitutifs du système terrestre, c'est-à-dire les océans, les terres émergées et l'atmosphère (GIEC, 2013). La chaleur s'accumule essentiellement dans les océans, ceux-ci absorbant près de 80 % de la chaleur s'ajoutant au système climatique. Les changements de température de l'océan sont donc des indicateurs importants des changements climatiques. Ces dernières années, le réchauffement des océans a été largement mis en évidence, la progression étant estimée à $0,64$ W/m² sur la période 1993-2008 (Lyman et al., 2010). La hausse de la température de l'eau a été observée jusqu'à des profondeurs de 3000 m à partir de 1961 (GIEC, 2013). L'augmentation de la chaleur contenue dans les océans et la hausse du niveau des mers, qui est le résultat présumé de l'expansion thermique (NASA, 2016), semblent être en cohérence (fig. 5).

Figure 5

Hausse observée du niveau mondial moyen des mers et évolution de la chaleur contenue dans l'océan, sur vingt ans (1993-2013)

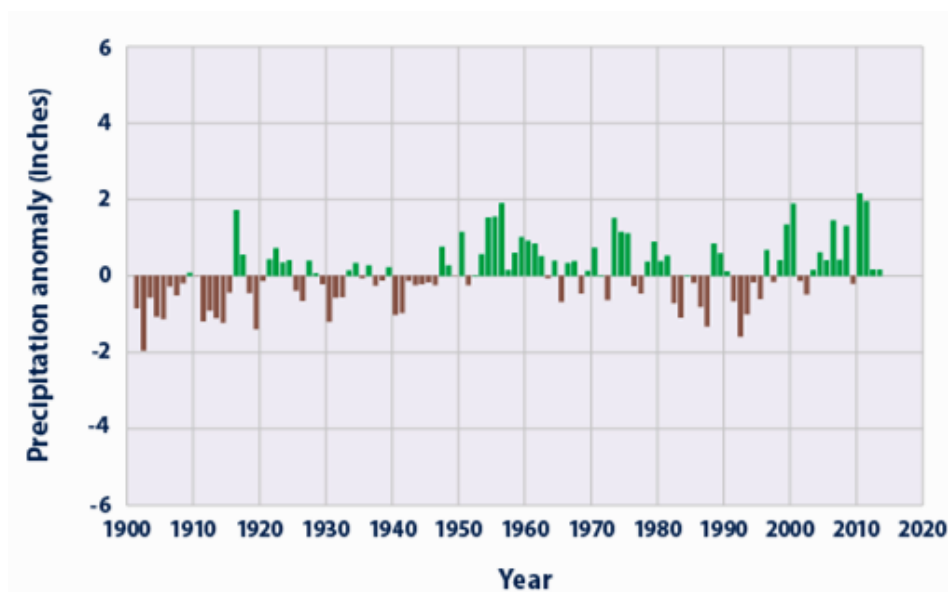
(Données sur le niveau de la mer déduites d'une combinaison de sources : TOPEX (1993-2001), Jason-1 (2002-08) et Jason-2 (2008-13) (disponible à l'adresse <http://sealevel.colorado.edu/>). La chaleur contenue dans l'océan est mesurée dans les 700 premiers mètres par rapport à la moyenne de la période 1993-2012 ; les données proviennent de CSIRO/ACE CRC ; PMEL/JPL/JIMAR ; NODC ; et de EN4.0.2 (MetOffice, 2014))



8. L'analyse des données mondiales de précipitations sur la terre ferme révèle une tendance croissante au XX^e siècle, surtout à des latitudes moyennes à hautes (avec un faible indice de confiance avant 1951 et un indice de confiance moyen par la suite). Cependant, lorsque l'analyse se cantonne aux seules latitudes moyennes de l'hémisphère Nord, l'indice de confiance quant aux tendances de précipitations pour les années ultérieures à 1951 est plutôt élevé. De manière générale, les données mondiales de précipitations font apparaître des tendances à long terme inégales (et sans signification statistique) (GIEC, 2013), avec une forte variabilité régionale. Les épisodes de fortes précipitations ont augmenté en intensité et/ou en fréquence dans de nombreuses régions d'Europe et d'Amérique du Nord (fig. 6), tandis que l'on a observé une fréquence et une intensité accrues des épisodes de sécheresse en Méditerranée et dans certaines régions d'Afrique (GIEC, 2013).

Figure 6

Précipitations annuelles totales sur les terres émergées de la planète – comparaison entre les périodes 1901-2013 et 1901-2000 (EPA, 2015)



1.1.2 Niveau des mers

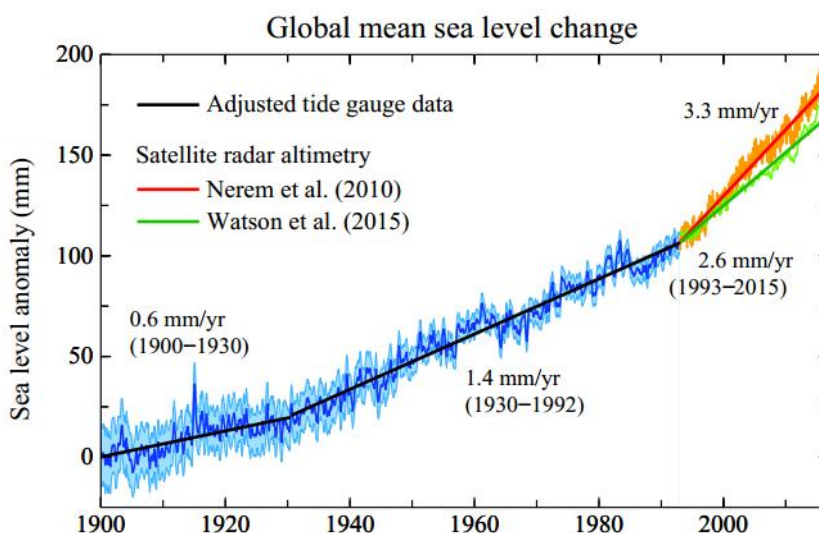
9. La hausse significative du niveau moyen des mers observée ces dernières décennies est due aux paramètres suivants : a) expansion thermique des océans, c'est-à-dire augmentation du volume des océans due à des effets stériques, b) isostasie glaciaire, c'est-à-dire augmentation de la masse océanique due à la fonte de la glace au Groenland et dans l'Antarctique, mais aussi des glaciers et des calottes glaciaires, c) ajustement glacio-isostatique et d) changements dans les réserves d'eau terrestre (voir notamment Hanna et al., 2013). L'élévation du niveau des mers a brutalement augmenté par rapport à la situation relativement stable qui prévalait dans les années d'avant 2000 (voir notamment Church et White, 2006 ; Engelhart et al., 2009 ; Gehrels et Woodworth, 2012 ; GIEC, 2013 ; Horton et al., 2014). Depuis 1860, le niveau de la mer a augmenté d'environ 0,20 m, mais à un rythme de plus en plus rapide, en particulier depuis les années 1990. L'élévation du niveau de la mer a été en moyenne de 1,3 à 1,8 cm par décennie (Church et al., 2013 ; Hay et al., 2015). Comme pour la température, la tendance à la hausse sur le long terme a été inégale d'une décennie à l'autre. Ainsi, l'augmentation a été moins sensible durant la première partie du XX^e siècle et une bonne partie des années 1960 et 1970 ; elle a été plus rapide durant les années 1930 et d'un bout à l'autre des années 1950. Depuis 1993, les observations satellitaires et les marégraphes ont révélé une hausse globale du niveau des mers de $3,3 \pm 0,25$ cm par décennie (Church et al., 2013) et on constate une accélération sensible de cette tendance depuis 1900 (fig. 7).

10. L'évolution et les variations du niveau moyen de la mer et du climat régional ont entraîné des modifications mondiales des tendances pour les très hautes élévations du niveau de la mer à la fin du XX^e siècle. Toutefois, ces élévations peuvent varier considérablement, en particulier le long des côtes (Menendez et Woodworth, 2010). D'autres études récentes font état de variations importantes entre régions. En Europe, par exemple, le niveau de la mer a augmenté le long de la plupart des côtes ces quarante dernières années environ, sauf au nord de la Baltique (EEA⁶, 2012).

Figure 7

Évolution estimative du niveau des mers (mm) depuis 1900

(Jusqu'en 1992, ces données correspondent aux relevés des marégraphes de Church et White (2011), avec une multiplication par 0,78, pour obtenir sur la période 1901-1990 une augmentation moyenne de 1,2 mm par an⁻¹ (Hansen et al., 2016))



⁶ Agence européenne pour l'environnement.

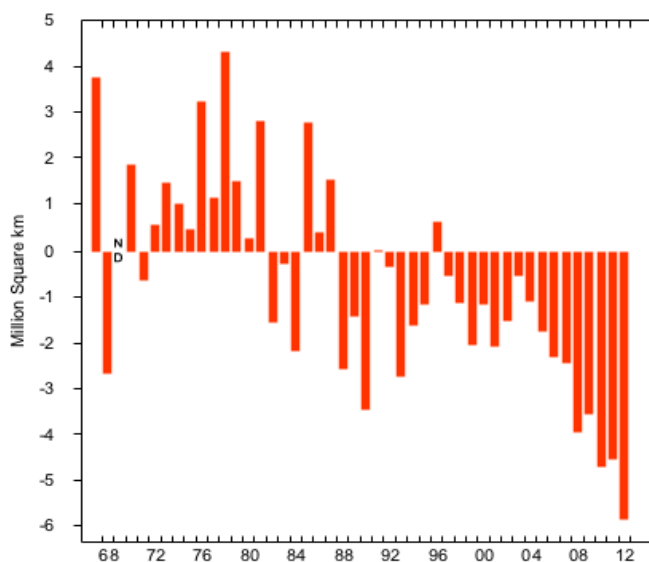
1.1.3 Calotte glaciaire arctique, couverture neigeuse et pergélisol

11. La tendance au réchauffement affecte également la cryosphère. La couverture neigeuse dans l'hémisphère Nord (soit environ 98 % de l'ensemble de la couverture neigeuse dans le monde) a reculé de 11,7 % par décennie au mois de juin (EEA, 2015a) sur la période de 1967 à 2012 (fig. 8). Cette tendance n'est cependant pas uniforme. Certaines régions, dont les Alpes et la Scandinavie, accusent une diminution de la hauteur de couverture neigeuse à basse altitude, mais une augmentation de cette même hauteur à haute altitude, tandis que l'on ne constate aucune tendance cohérente dans d'autres régions montagneuses comme les Carpates, les Pyrénées ou le Caucase (EEA, 2012).

12. Depuis quelques décennies, on observe une tendance à la baisse de l'étendue et de la persistance de la couverture neigeuse dans l'Arctique. L'étendue minimale de la calotte glaciaire arctique, observée à la fin de l'été, a reculé d'environ 40 % depuis 1979, et les neuf reculs les plus marqués recensés en septembre sur la période 1979-2015 se sont tous produits au cours des neuf dernières années (NSIDC⁷, 2012). L'étendue de la calotte glaciaire arctique à l'été 2012 a été estimée à 3,39 millions de km², soit la valeur la plus basse jamais enregistrée. La fonte de la banquise au Groenland durant l'été a elle aussi été supérieure à la moyenne de la période 2011-2015 (OMM, 2016). Cependant, la calotte glaciaire arctique a reculé moins rapidement en hiver qu'en été, la valeur la plus basse enregistrée en hiver ayant été de 14,39 millions de km². La masse de la calotte glaciaire du Groenland a été mesurée par Velicogna et al. (2014), lesquels ont découvert que la perte de masse s'établissait à $280 \pm 58 \text{ Gt an}^{-1}$, avec une accélération de $25,4 \pm 1,2 \text{ Gt/an}^{-2}$. Dans le cadre de cette même étude, la masse des glaciers et de la banquise du Canada proche a accusé une perte de $74 \pm 7 \text{ Gt/an}^{-1}$, avec une accélération de $10 \pm 2 \text{ Gt an}^{-2}$.

Figure 8

Mesure de la couverture neigeuse dans l'hémisphère Nord au cours du mois de juin, pour la période 1967-2012 (NSIDC, 2012)



13. Les processus décrits plus haut ont eu des effets significatifs sur la hausse globale du niveau des mers. Selon les observations qui ont été faites au Groenland, la perte de glace a très probablement concouru à une hausse de 0,09 (de -0,02 à 0,20) mm/an⁻¹ pour 1992-2001, jusqu'à 0,59 (de 0,43 à 0,76) mm/an⁻¹ pour 2002-2011, tandis que la fonte de

⁷ National Snow and Ice Data Center.

la calotte glaciaire dans l'Antarctique a probablement concouru à une hausse supplémentaire de 0,08 (de -0,10 à 0,27) mm/an-1 pour 1992-2001 à 0,40 (de 0,20 à 0,61) mm/an-1 pour 2002-2011. Au total, l'apport de la fonte des calottes glaciaires à l'augmentation du niveau de la mer a été de 0,60 (0,42 à 0,78) mm/an-1 pour la période 1993-2010 (GIEC, 2013).

14. Au cours des cinq dernières années (2011-2015), la régression de la calotte glaciaire de l'Arctique s'est poursuivie, dépassant la valeur moyenne de la période 1981-2010, notamment quant à l'étendue hivernale maximale. Par contraste, l'étendue de la calotte glaciaire dans l'océan Antarctique a atteint 20,16 millions de km² en septembre 2014, soit 1,45 million de km² de plus que la moyenne de 1981-2010, marquant du même coup une valeur record dans les relevés par satellite. Un gel hivernal anormalement lent en 2015 a fait que la glace de mer est revenue pratiquement au niveau moyen qu'elle occupait au printemps 2015 (maximum – début octobre – de 18,83 millions de km², soit 0,7 % au-dessus de la moyenne de 1981-2010 (OMM, 2016)). Les glaciers de montagne ont eux aussi continué de reculer au cours des cinq dernières années, tandis qu'on observait parallèlement un réchauffement jusqu'à une profondeur de 20 m dans le pergélisol de l'Arctique. La température du pergélisol a gagné jusqu'à 2 °C dans la plupart des régions depuis 1980, entraînant des dommages significatifs pour l'infrastructure. Depuis 1930, l'épaisseur du pergélisol dans l'hémisphère Nord a perdu 0,32 m (GIEC, 2013). L'étendue de la couverture neigeuse est tombée elle aussi sous la moyenne au cours des cinq dernières années (2011-2015). Dans l'hémisphère Nord, les anomalies constatées quant à l'étendue de cette couverture ont révélé une forte variabilité saisonnière, mais l'étendue moyenne générale sur cette période de cinq ans a été proche de la moyenne de 1981-2010. L'anomalie saisonnière la plus marquée s'est produite à l'hiver 2013, lorsque l'étendue de la couverture neigeuse est apparue très supérieure à la normale (OMM, 2014).

1.1.4 Phénomènes climatiques extrêmes

15. Des changements dans les conditions climatiques moyennes peuvent aussi modifier la fréquence, l'intensité, l'étendue géographique, la durée et la périodicité des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes, et donner lieu à des épisodes sans précédent. Ces phénomènes extrêmes peuvent à leur tour modifier la répartition des conditions climatiques à venir ; par conséquent, les conditions futures moyennes de certaines variables climatiques devraient se trouver dans des valeurs extrêmes des conditions observées actuellement (GIEC, 2013). Les phénomènes extrêmes, comme les tempêtes, les inondations, les sécheresses et les vagues de chaleur, ainsi que les changements qui surviennent au sein de systèmes climatiques donnés, tels que les moussons (King et al., 2015) peuvent avoir les répercussions les plus graves à une échelle spatio-temporelle plus réduite (GIEC, 2013) dans la mesure où ils peuvent produire des effets et des catastrophes naturelles plus graves que des changements dans les variables moyennes. En outre, les sociétés sont rarement préparées à affronter des événements météorologiques extrêmes de façon efficace, car elles ont pris l'habitude de s'appuyer sur des régimes climatiques prévisibles à long terme (MetOffice, 2014).

16. Bon nombre d'indicateurs de phénomènes climatiques extrêmes et de variabilité ont fait apparaître des changements qui s'accordent avec le réchauffement, notamment une diminution à grande échelle du nombre de jours de gel à moyenne altitude et une preuve perceptible de ce que les valeurs extrêmes de températures élevées ont progressé, tandis que les valeurs extrêmes de températures basses ont régressé dans de nombreuses régions (GIEC, 2013). Les éléments de preuve recueillis montrent une modification générale de la fréquence des extrêmes en termes de précipitations et de températures qui font vivement ressentir leurs effets sur les terres, indépendamment du type de jeu de données et de la méthode de traitement appliquée (MetOffice, 2014).

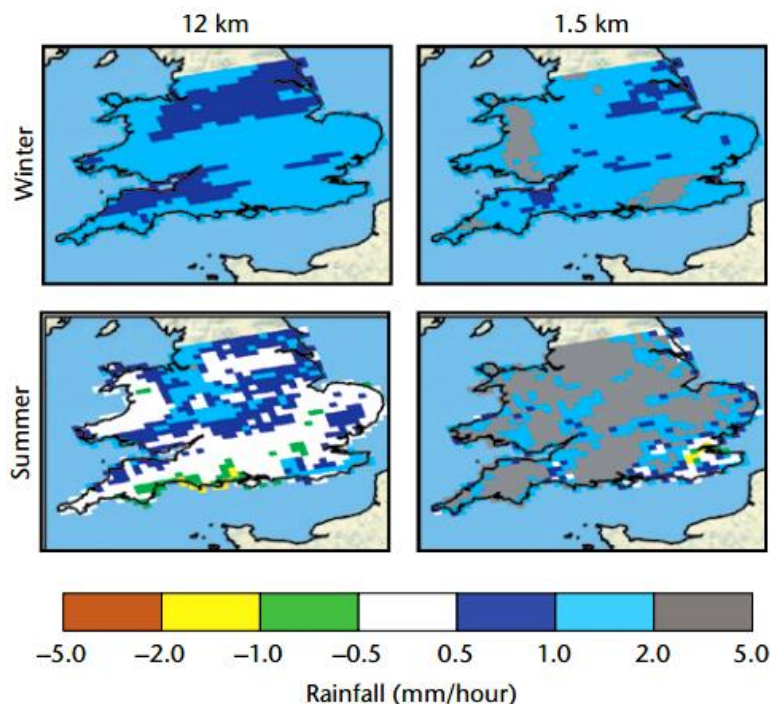
17. Les événements extrêmes ont des conséquences qu'il est parfois difficile de prévoir. Ils peuvent aussi être très variables, comme le sont par exemple des changements brusques et provisoires de températures, des reculs rapides de la glace des mers, des précipitations anormalement fortes, des orages intenses, des ondes de tempête, des sécheresses prolongées, des vagues de chaleur et des feux incontrôlés, un dégagement soudain d'eau produit par la fonte des glaciers et l'affaissement du pergélisol, autant de phénomènes qui peuvent avoir des répercussions considérables. De plus, des éléments donnent à penser que les phénomènes extrêmes, comme les orages dans les zones tropicales et tempérées, deviennent encore plus extrêmes sous l'effet du réchauffement climatique (Emanuel, 2005 ; Ruggiero et al., 2010 ; OMM, 2014 ; MetOffice, 2014). Ainsi, même une augmentation modeste de 5 m/s de la vitesse du vent de surface des cyclones tropicaux due à une élévation de 1 °C de la température de l'océan pourrait considérablement renforcer la survenue des cyclones les plus intenses et les plus destructeurs (de catégorie 5) (voir entre autres Steffen, 2009). Ces phénomènes extrêmes pourraient avoir des conséquences graves, notamment pour les populations et les infrastructures côtières, car ils augmentent le risque d'ondes de tempête entraînant une modification des niveaux extrêmes de la mer et provoquant une montée des vagues (voir entre autres Stockdon et al., 2012) qui sont à leur tour à l'origine d'inondations du littoral, surtout lorsqu'à ces phénomènes s'ajoute l'élévation prévue du niveau moyen de la mer (Hallegatte et al., 2013).

18. En outre, l'augmentation de l'amplitude et de la fréquence des vagues géantes ou une modification de leur configuration (voir notamment Ruggiero, 2013 ; Bertin et al., 2013) entraîne aussi, ne serait-ce que provisoirement, une érosion ou une inondation du littoral, surtout lorsque ces phénomènes se produisent dans un contexte d'élévation du niveau de la mer (voir notamment Losada et al., 2013). Les ondes de tempête menacent tout particulièrement les zones côtières très développées, en particulier les parties basses de deltas comme ceux du Rhin, du Danube ou du Mississippi, qui sont considérées comme des points chauds de l'érosion et de la vulnérabilité côtières en raison de l'élévation importante du niveau moyen de la mer (CEE, 2013). Une étude des tendances en ce qui concerne les ondes de tempête extrêmes qui menacent les zones côtières très développées, réalisée à l'aide de marégraphes, a montré que l'élévation moyenne du niveau de la mer a tendance à provoquer des montées des eaux extrêmes (voir entre autres Marcos et al., 2011). On peut affirmer avec certitude que le littoral actuellement exposé à l'érosion ou aux inondations continuera de l'être à l'avenir, en raison de l'élévation du niveau de la mer, toutes choses étant égales par ailleurs (Hallegatte et al., 2013).

19. L'une des tendances les plus marquées semble être la fréquence et l'intensité croissantes des fortes précipitations, qui sont à l'origine de la hausse générale des précipitations des cinquante dernières années. Les modèles climatiques prévoient que cette tendance se poursuivra au cours du siècle (Karl et al., 2009). Un modèle à haute résolution (MetOffice, 2014) donne à penser que, si les étés au Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord (RU) doivent devenir de plus en plus secs jusqu'en 2100, les précipitations de la même saison seront plus fortes (fig. 9). Il est probable que la fréquence de ces phénomènes s'intensifiera dans de nombreuses régions au XXI^e siècle, principalement dans les hautes latitudes et en zone tropicale, et dans les latitudes moyennes septentrionales en hiver. Il a été établi avec un degré de certitude moyen que les précipitations fortes augmenteront également, y compris dans les régions où les pluies devraient globalement diminuer (CEE, 2013).

Figure 9

Évolution des précipitations fortes selon le modèle de résolution 12 km (à gauche) et le modèle de résolution 1,5 km (à droite), en hiver (partie du haut) et en été (partie du bas). Si l'un et l'autre modèles présentent une intensité pluviométrique horaire plus marquée, le modèle de résolution 1,5 km montre également une augmentation sensible de l'intensité des précipitations de courte durée en été. Ces changements s'entendent à l'horizon 2100, selon le scénario de fortes émissions du profil représentatif d'évolution de concentration – RCP (RCP)8.5 (Met Office, 2014)

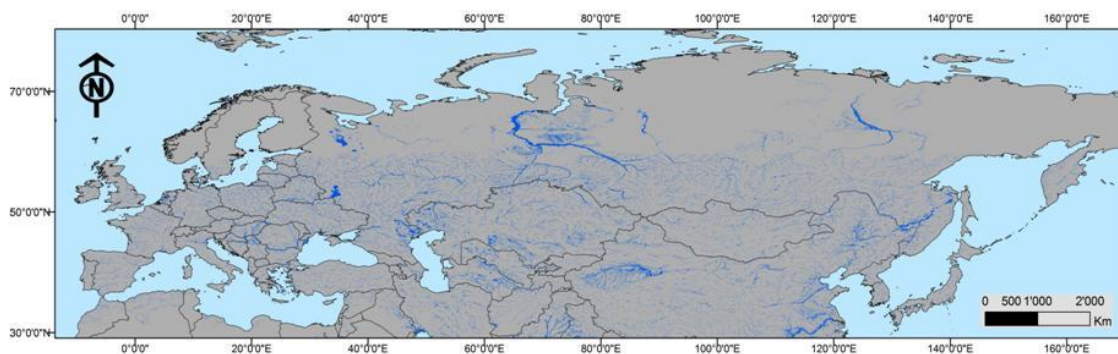


20. Les inondations dues aux crues des fleuves sont le danger le plus grave et le plus répandu (King et al., 2015). Entre 1980 et 2014, elles ont été responsables de 41 % des dommages de tous types, de 27 % des décès et de 32 % des pertes matérielles (Munich Re, 2015). Les crues sont un déversement massif d'eau dû à des facteurs physiques et socioéconomiques. Les facteurs physiques sont étroitement liés au cycle hydrologique, lui-même influencé actuellement par des changements au niveau des températures et des précipitations, mais aussi par la fonte des glaciers et de la neige. Les facteurs socioéconomiques sont influencés par les changements apportés au niveau de l'utilisation des terres, les régimes de gestion des cours d'eau et les constructions en zone inondable (EEA, 2010). Dans la région de la CEE, le risque de crue est constant. Dans les pays d'Europe et d'Asie, le risque de crues (centennales) est élevé, en particulier en Europe centrale et orientale, en Asie centrale et dans les grands bassins versants sud-nord de Sibérie (fig. 10). Toutefois, on prévoit mieux la nature et les conséquences des phénomènes hydrologiques extrêmes à l'échelon régional ou local, la plupart des études existantes étant consacrées à l'apparition et aux conséquences des crues dues notamment à une hausse des pluies torrentielles. En Europe, on a constaté une augmentation générale des débits annuels d'eau dans le nord et une baisse dans le sud du continent (EEA, 2012), une tendance qui devrait se maintenir à l'avenir, étant donné qu'elle accompagne des changements prévus des régimes de précipitations (EEA, 2015c). D'ici à 2050, il existe un risque que l'on peut évaluer à au moins 50 % de voir les changements climatiques à eux seuls entraîner une augmentation de 50 % de populations inondées dans l'ensemble de l'Afrique subsaharienne, et un risque de 30 à 70 % d'une telle augmentation en Asie. À l'horizon 2100, on prévoit une aggravation de ces mêmes risques (King et al., 2015).

Figure 10

Risque actuel (probabilité : 95 %) de crues centennales dans la région eurasiennne de la CEE, calculé à partir d'un modèle SIG reposant sur une série chronologique relative à l'écoulement des cours d'eau

(Résolution d'un modèle altimétrique numérique (MAN) 90 m. Les zones situées au-delà de 60° de latitude nord ne sont pas intégralement couvertes, en raison des limites du modèle (GRID du PNUE⁸ et SIPC⁹, 2008). (CEE, 2013))



21. Les glissements de talus et de terrain devraient également se multiplier dans les régions montagneuses, car ces phénomènes sont liés à de fortes précipitations dont la fréquence et l'intensité sont appelées à croître (voir notamment Karl et al., 2009). Par conséquent, les dégâts dus aux crues, notamment en Europe, devraient considérablement augmenter d'ici à la fin du siècle et être plus conséquents dans le nord que dans le sud du continent (Alfieri et al., 2015). Certains éléments donnent à penser que la fréquence et l'intensité des vagues de chaleur augmenteront également (voir notamment Beniston et Diaz, 2004 ; GIEC, 2013) ; de manière générale, on constate une multiplication par trois des pics de chaleur mensuels observés depuis les années 1920 par rapport à ce que l'on pourrait attendre dans un contexte de stabilité climatique (Coumou et Rahmstorf, 2012). Au niveau de la planète, étant donné que les températures moyennes continuent à augmenter, les modèles prévoient, avec un degré de certitude important, une augmentation de la fréquence et de l'ampleur des journées et des nuits chaudes et une diminution des journées et des nuits froides (GIEC, 2013). Depuis les années 1950, le nombre de journées et de nuits anormalement froides a très probablement diminué, tandis que le nombre de journées et de nuits anormalement chaudes a augmenté à l'échelle de la planète (sur les terres émergées pour lesquelles on détient suffisamment de données). Ainsi, la plupart des régions d'Amérique du Nord semblent avoir connu davantage de journées et de nuits anormalement chaudes, moins de journées et de nuits anormalement froides et des journées de gel plus rares (CEE, 2013). Les vagues de chaleur sont souvent liées à de graves sécheresses (comme celle de l'été 2003 en Europe, par exemple). En règle générale, les sécheresses s'aggravent dans certaines régions, une tendance qui devrait se confirmer, voire se renforcer, au XXI^e siècle (GIEC, 2013).

1.1.5 La période 2011-2015

Températures et précipitations

22. Les cinq dernières années (2011-2015) ont été la période la plus chaude jamais enregistrée. Les températures ont été supérieures de 1 °C à la moyenne de 1961-1990 (dans la majeure partie de l'Europe, dans le nord de l'Asie et dans le sud-ouest des États-Unis) et

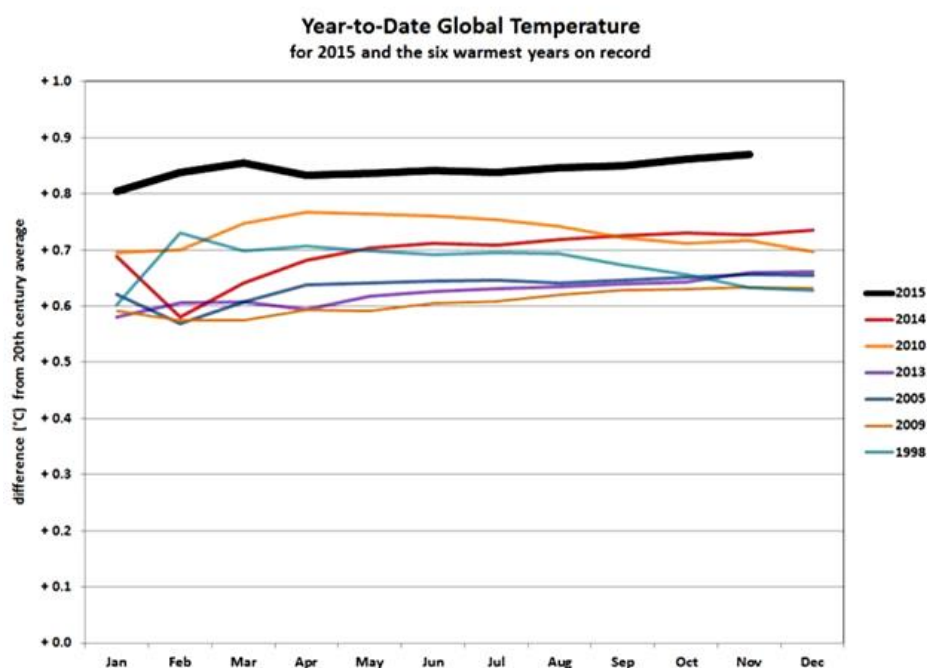
⁸ Base de données sur les ressources mondiales (GRID) du Programme des Nations Unies pour l'environnement.

⁹ Stratégie internationale de prévention des catastrophes (SIPC).

supérieures de 3 °C à la moyenne dans certaines parties de l'Arctique russe. L'année 2015 a battu tous les records (0,87 °C de plus que la moyenne de 1901-2000 qui était de 14,0 °C), annulant le record précédent (2014), avec une température moyenne des terres émergées atteignant un niveau sans précédent (1,27 °C au-dessus de la moyenne) (fig. 11). Pratiquement l'ensemble de l'Eurasie a largement dépassé les valeurs moyennes de température. À ce sujet, on notera également les anomalies saisonnières : les printemps les plus chauds jamais relevés ont été observés en Amérique du Nord (2012) et en Europe (2014), tandis que l'été le plus chaud en Amérique du Nord a été celui de 2012. Pour la première fois, l'année 2015 a dépassé de 1 °C, voire plus, la moyenne globale des températures de la période 1880-1899 (NASA, 2016). Des phénomènes du type d'El Niño (ou La Niña) qui ont le pouvoir de réchauffer ou de refroidir la partie tropicale de l'océan Pacifique peuvent être la cause d'une telle variabilité à court terme des températures mondiales, et l'année 2015 dans sa majeure partie a connu un épisode El Niño. À l'échelle mondiale, les dix années les plus chaudes se sont toutes produites depuis 1998, et huit de celles-ci depuis 2005 (fig. 11).

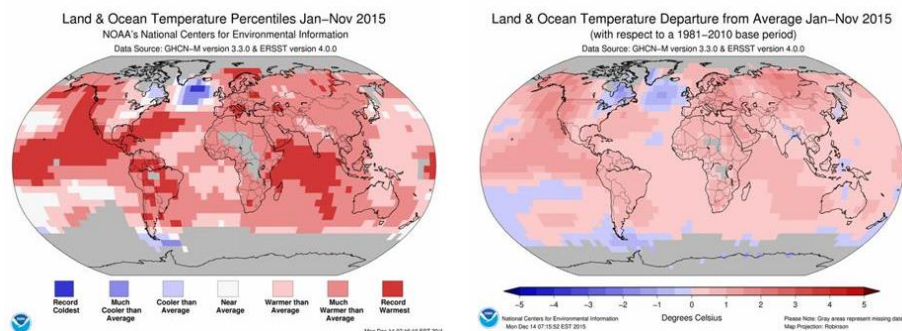
Figure 11

La période 2011-2015 a été la plus chaude jamais enregistrée, avec des températures supérieures de 0,57 °C à la moyenne de 1961-1990 et de 0,51 °C à la moyenne de 2006-2010. Sur la terre ferme, les températures ont été supérieures de plus de 1 °C à la moyenne de 1961-1990 pour la majeure partie de l'Europe, le sud-ouest des États-Unis et le secteur asiatique de la Fédération de Russie, ainsi que la majeure partie des régions situées au nord du 60° parallèle nord (NOAA, 2016b)



23. Pour la même période de cinq ans, les températures à la surface de la mer ont été supérieures à la moyenne dans la plupart des océans, à l'exception de certains secteurs de l'océan Antarctique et de la partie orientale du Pacifique sud. Des températures plus chaudes ont également été observées sous la surface de l'eau, puisque le contenu de chaleur intégrée des océans dans la couche 0 – 700 m a été plus important en 2013 et 2014 que lors de toute autre période d'enregistrement selon cinq jeux de données disponibles (NOAA, 2016). Deux anomalies notables ont été observées à la fin de 2013 : i) une masse importante d'eau très chaude (> 2 °C au-dessus de la moyenne) dans la partie orientale du Pacifique Nord, et ii) la persistance de températures de surface inférieures à la normale dans la partie orientale de l'Atlantique Nord.

Figure 12
Anomalies de température relevées en 2015 (NOAA, 2016c)



24. Les précipitations sur la terre ferme ont été fortement influencées au début et vers la fin de la période 2011-2015 par le phénomène d'oscillation australe El Niño, les conditions propres à La Niña ayant prévalu pendant la majeure partie de 2011 et au début de 2012, et celles d'El Niño dans la dernière partie de 2015. La NOAA a désigné 2011 comme la deuxième année la plus humide pour l'ensemble du globe terrestre depuis qu'existent les relevés, tandis que 2012, 2013 et 2014 ont chacune été proche de la moyenne à long terme. L'une des principales caractéristiques de cette période de cinq ans est la présence d'anomalies pluviométriques pluriannuelles persistantes concernant plusieurs régions, qui ont pour la plupart commencé après la fin de l'épisode La Niña de 2012.

25. Trois régions (la moitié est du Brésil, la partie ouest des États-Unis et certaines régions de la partie est de l'Australie) ont observé pour la période octobre 2012-septembre 2015 une pluviométrie inférieure au 10^e centile sur de vastes étendues, par contraste à d'autres régions où les précipitations ont dépassé le 90^e centile (comme l'est de la Russie). Pour sa part, l'Europe a été témoin de conditions très contrastées entre le nord et le sud, la Scandinavie ayant connu des épisodes très humides, contrairement à la majeure partie de l'Europe centrale et du sud-est où il a fait très sec. Les grandes anomalies pluviométriques annuelles ont été moins courantes dans les années 2012-2014, les plus marquées ayant été observées dans le nord-est de l'Europe, dans certaines régions de la Chine et de l'Argentine (2012) et dans le sud-est de l'Europe (2014) ; dans la région de la CEE, des conditions de grande sécheresse se sont produites dans la majeure partie de la région centre des États-Unis et dans le centre de la Russie (2012), ainsi que dans la partie occidentale de la Russie (2014).

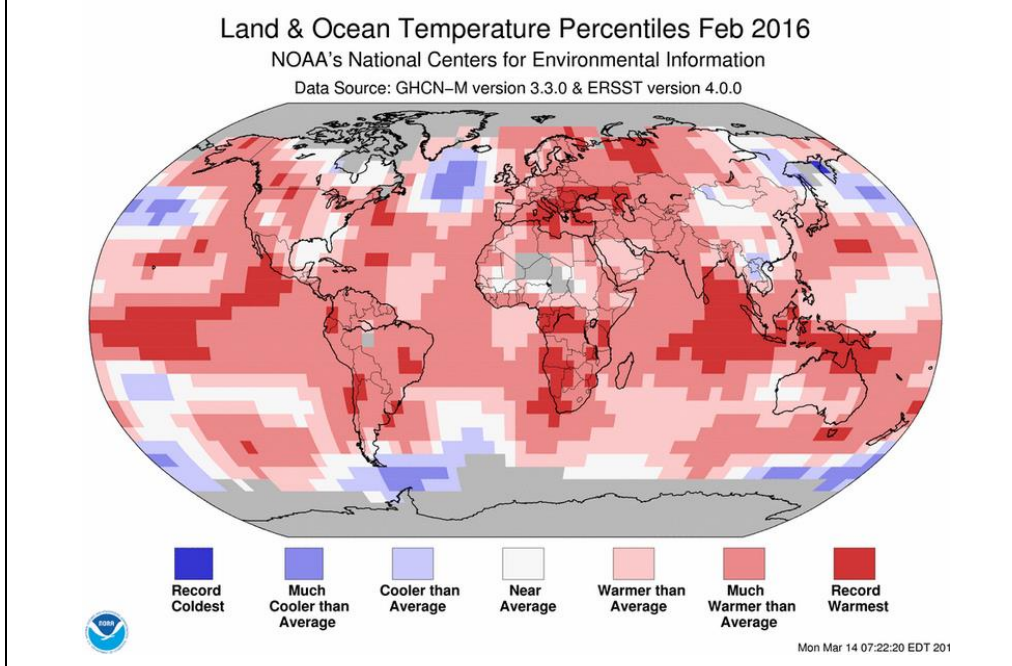
ÉTUDE DE CAS : février 2016, le mois de février le plus chaud jamais enregistré

Février 2016, avec une température moyenne mesurée sur la terre ferme et à la surface des océans supérieure de 1,21 °C à la moyenne du XX^e siècle, qui était de 12,1 °C, a battu tous les records pour un mois de février depuis que les relevés existent, dépassant de 0,33 °C le précédent record de 2015 (NOAA, 2016d). Dans l'ensemble, les six écarts mensuels de température les plus marqués par rapport aux valeurs précédemment enregistrées se sont tous produits durant la période septembre 2015-février 2016.

Dans l'hémisphère Nord, une vaste région couvrant le centre de la Russie et l'est de l'Europe (et aussi l'Alaska) a été témoin d'un écart de plus de 5 °C par rapport à la moyenne de la période 1981-2010. En Asie, quelques poches ont été plus fraîches que la moyenne, y compris une partie du grand est de la Russie (fig. B.1).

Figure B.1

Anomalies de température sur terre et à la surface des océans en février 2016, par comparaison avec la moyenne mondiale (NOAA, 2016d)



Hausse du niveau de la mer

26. Durant la période 2011-2015, le niveau moyen de la mer a continué d'augmenter. Au début de cette période, le niveau moyen de la mer était environ 10 mm au-dessous de la tendance à long terme (en raison probablement de la vigueur du phénomène La Niña). Cependant, dès la mi-2012, le niveau moyen de la mer s'est mis à remonter. Une hausse marquée s'est produite au début de 2015 (quand El Niño a commencé à produire ses effets), et le niveau de la mer a dépassé d'environ 10 mm le niveau attendu. Par comparaison avec les relevés satellitaires complets (1993-2015, tendance : 3 mm/an) cela représente une hausse de 1,7 mm/an par rapport à la tendance moyenne de 1900-2010. Des études ont montré que la fonte des calottes glaciaires continentales, particulièrement celles du Groenland et de l'Antarctique ouest, avait pour effet d'accélérer la hausse du niveau de la mer. Durant la période 2011-2013 (englobant l'année 2012 qui a été témoin d'un phénomène extrême de fonte des glaces), la fonte des glaces du Groenland a contribué à hauteur d'environ 1 mm/an à la hausse du niveau de la mer, soit bien plus que les 0,6 mm/an mesurés durant la période 2002-2011 (GIEC, 2013). S'agissant de l'océan Pacifique, des différences régionales marquées sont apparues durant la période 1993-2014, qui ont été attribuées aux épisodes El Niño et La Niña. La partie ouest de l'océan Pacifique a enregistré les hausses les plus marquées du niveau de la mer durant cette période (> 10 mm/an par endroits), par contraste avec la partie est. De tels écarts n'ont pu être constatés entre l'océan Atlantique et l'océan Indien, la majeure partie de ces deux océans montrant des valeurs similaires à la moyenne mondiale.

Phénomènes extrêmes majeurs de la période 2011-2015

27. La période 2011-2015 a été témoin de nombreux phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes, tels que vagues de chaleur, vagues de froid, cyclones tropicaux, inondations, sécheresses et tempêtes violentes. Plusieurs de ces phénomènes ont occasionné des pertes et des dommages considérables, comme les inondations de 2011 en Asie

du Sud-Est, l'ouragan Sandy dans les Caraïbes et aux États-Unis (2012), les épisodes de sécheresse dans le sud et le centre des États-Unis (2012 et 2013), et les inondations de mai-juin 2013 en Europe centrale (OMM, 2016). En termes de victimes, les inondations éclair qui ont frappé le sud du Brésil et l'Asie du Sud-Est ont causé 1 700 décès (2011), tandis que le typhon Haiyan (Yolanda) aux Philippines et les inondations du nord de l'Inde en ont causé 13 600 (2013). En Inde et au Pakistan, les vagues de chaleur de mai-juin 2015 ont tué plus de 3 700 personnes. Le phénomène extrême ayant causé le plus grand nombre de morts a été la sécheresse qui a frappé la Corne de l'Afrique en 2010-2011, probablement responsable de la famine qu'a connue la Somalie à la fin de 2010 jusqu'au début de 2012, à l'origine de 258 000 morts supplémentaires (OMM, 2016).

Vagues de chaleur et épisodes de sécheresse

28. D'importantes vagues de chaleur ont été enregistrées en Europe durant les étés 2012, 2013 et 2014. En Autriche, la température a pour la première fois atteint, voire dépassé les 40 °C. Une vague de chaleur prolongée a touché de nombreuses régions de l'Asie de l'Est en juillet-août 2013. Les vagues de chaleur les plus intenses ont été enregistrées en mai et en juin 2015 en Inde et au Pakistan, où la température a atteint, voire dépassé les 45 °C dans la période précédant la mousson. En Europe occidentale et centrale, les vagues de chaleur les plus significatives depuis 2003 ont été enregistrées au cours de la première quinzaine de juillet 2015, période pendant laquelle l'Espagne, la France et la Suisse ont battu tous leurs records de température. Quelques semaines plus tard, des températures de 40,3 °C ont également été relevées en Allemagne.

29. De graves épisodes de sécheresse se sont produits en 2011-2015. L'Amérique du Nord (les États-Unis et le nord du Mexique) ont connu de tels épisodes en 2011, 2012 et 2013. En juillet 2012, pas moins de 64,5 % du territoire des États-Unis a été déclaré en état de sécheresse, soit la plus vaste étendue jamais concernée par un tel épisode depuis les années 1930. En 2011-2015, les précipitations ont en outre été inférieures de 30 % à la normale, ce qui a entraîné des pertes économiques totales évaluées à quelque 60 milliards de dollars É.-U. Des épisodes prolongés de sécheresse se sont également produits en Australie et en Afrique du Sud, alors que la pluviométrie de la mousson en Inde (juin-septembre) a été inférieure de 10 % à la normale à la fois en 2014 et en 2015.

Grands froids et neige

30. En dépit des températures généralement élevées de la période de cinq ans qui vient de s'écouler, des épisodes anormaux de froid et d'averses de neige ont encore été rapportés dans l'hémisphère Nord. Une période prolongée de froid extrême a touché l'Europe en février 2012. Il s'agissait de l'épisode de froid le plus sévère depuis 1985 ou 1987 dans de nombreuses régions d'Europe centrale et occidentale, les températures étant restées négatives sans discontinuer pendant deux semaines ou plus dans la majeure partie de l'Europe centrale, même si aucun record de température négative n'a été battu. Cet épisode a également été accompagné d'averses de neige particulièrement abondantes en certains endroits, notamment dans certaines régions de l'est de l'Italie. Mars 2013 a été notablement froid dans une grande partie de l'Europe, balayée à certains endroits par d'importantes tempêtes de neige. Les hivers 2013-2014 et 2014-2015 ont l'un et l'autre été significativement plus froids que la normale dans bon nombre de régions du centre et de l'est des États-Unis et dans la partie sud du Canada, où les températures sont longtemps restées sous la normale, encore qu'aucun record n'ait été battu. Le froid a été particulièrement persistant en février 2015, où les températures sont restées négatives d'un bout à l'autre du mois dans des villes comme Montréal, Toronto et Syracuse. Les régions côtières ont essuyé de fréquentes averses de neige qui ont valu à Boston la chute de neige la plus abondante jamais enregistrée à cette saison (OMM, 2016).

Vents violents et tornades

31. Les vents violents et les tornades ont été à l'origine de destructions majeures. Le nombre de cyclones caractérisés par des vents spécialement forts s'est accru au cours de ces cinq années. La partie nord-ouest du Pacifique a été particulièrement active en 2013 et 2015, et la partie nord de l'Atlantique en 2011. Les États-Unis ont connu en 2011 une saison de tornades parmi les plus actives, le nombre total de tornades de cette année prenant la troisième place dans les relevés. En 2012-2015, cependant, cette activité a été inférieure à la moyenne de 1991-2010. S'agissant des ouragans, l'ouragan Sandy a frappé les Caraïbes et la côte est des États-Unis en octobre 2012, occasionnant des dommages majeurs. De graves inondations côtières ont ainsi été déplorées, et les niveaux d'eau comme l'ampleur des inondations ont battu des records (GIEC, 2013). Un total de 233 décès ont été recensés aux États-Unis et dans les Caraïbes, tandis que les pertes économiques totales ont été estimées à 67 milliards de dollars É.-U. Les cyclones tropicaux ont également eu des conséquences majeures en Asie (comme les typhons Haiyan (Yolanda) et Washi (Sendong)), tandis que le cyclone Patricia a été le plus intense jamais enregistré au Mexique, avec des vents soufflant à 322 km/h.

32. Durant cette période, plusieurs tempêtes liées à des cyclones subtropicaux se sont produites en Europe. En 2013, le Danemark a enregistré la vitesse de vent la plus élevée de son histoire (53,5 m/s), ayant d'ailleurs occasionné des dommages de grande ampleur (de même qu'en France, en Allemagne, aux Pays-Bas, en Suède et au Royaume-Uni). Les niveaux d'ondes de tempête les plus élevés depuis 1953 ont été enregistrés aux Pays-Bas et au Royaume-Uni durant cette même période. À l'hiver 2013-2014, une succession de tempêtes a valu au Royaume-Uni son hiver le plus humide jamais enregistré, responsable de surcroît de dégâts significatifs et d'érosion des côtes (OMM, 2016).

1.1.6 Mécanisme de forçage

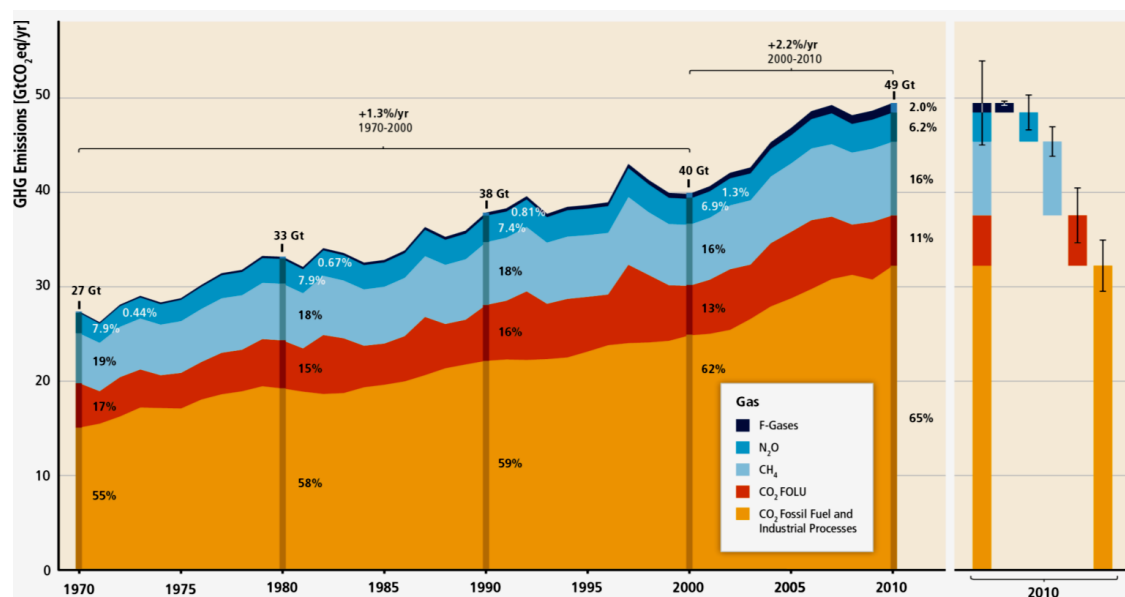
33. Les concentrations toujours plus importantes de gaz à effet de serre dans l'atmosphère sont considérées comme l'une des causes principales de l'augmentation observée de la chaleur à la surface de la planète. Ces gaz augmentent l'« effet de serre », un processus physique bien documenté du système terrestre que l'on connaît depuis le XIX^e siècle (voir entre autres Canadell et al., 2007). Tout changement dans la concentration de ces gaz dans l'atmosphère se répercute sur l'effet de serre. La vapeur d'eau est un gaz à effet de serre abondant et c'est celui qui contribue le plus à l'effet de serre « naturel ». Les activités humaines n'ont pas encore apporté la preuve de leur contribution directe aux flux mondiaux nets de vapeur d'eau en provenance ou à destination de l'atmosphère (voir entre autres Richardson et al., 2009), bien que, localement, elles aient pu avoir une influence, par exemple à cause de la déforestation et des grands aménagements d'irrigation. Quoi qu'il en soit, étant donné que la capacité de l'atmosphère à retenir la vapeur d'eau dépend fortement de la température, la quantité de vapeur d'eau présente dans l'atmosphère est régulée par la température de la Terre et, par conséquent, elle augmente à mesure que la planète se réchauffe. La vapeur d'eau suit et amplifie donc aussi les changements de la température mondiale qui sont dus à d'autres causes, telles que les concentrations croissantes d'autres gaz à effet de serre (voir entre autres Richardson et al., 2009).

34. Les gaz à effet de serre dans l'atmosphère absorbent la chaleur renvoyée par la surface de la Terre et contribuent donc à son stockage dans les océans, les terres émergées et l'atmosphère. Sans effet de serre, les températures moyennes sur la Terre seraient d'environ -19 °C (soit environ 34 °C de moins que leur niveau actuel). Toutes les planètes qui contiennent des gaz absorbant la chaleur sont soumises à l'effet de serre. Ainsi, la température extrême à la surface de Vénus (environ 440 °C) s'explique par une concentration très élevée de gaz à effet de serre dans son atmosphère. L'augmentation observée de la chaleur de la Terre s'explique probablement (du moins en partie) par les concentrations atmosphériques plus fortes en gaz à effet de serre qui absorbent la chaleur renvoyée par la surface de la Terre (GIEC, 2013).

35. Il semble que les concentrations de CO₂, de CH₄ et d'autres gaz à effet de serre dans l'atmosphère aient beaucoup augmenté ces dernières décennies, probablement en raison des activités humaines (voir entre autres Caldeira, 2009). Par ailleurs, de plus en plus d'éléments donnent à penser qu'il existe un lien entre la concentration de ces gaz et le climat. Ainsi, la covariation de la concentration de CO₂ et de la température dans les relevés effectués à partir de carottes glaciaires de l'Antarctique suggère un lien étroit entre CO₂ et climat durant les années glaciaires du pléistocène, dont la nature exacte n'est cependant pas claire (voir entre autres Shakun et al., 2012). Les mesures du CO₂ dans l'atmosphère et dans l'air piégé par la glace montrent que les gaz à effet de serre ont augmenté d'environ 40 % depuis 1800, la majeure partie de cette progression s'étant produite depuis les années 1970, avec l'accélération de la consommation d'énergie dans le monde (AEE, 2015a). De plus, les mesures pratiquées sur les carottes glaciaires donnent à penser que les concentrations actuelles de CO₂ sont plus importantes qu'à tout autre moment dans les 800 000 dernières années, le jalon de 400 ppm ayant été atteint le 9 mai 2013 (NOAA, 2015). En dépit du nombre croissant de mesures prises pour atténuer les effets des changements climatiques, les émissions anthropiques totales de gaz à effet de serre à l'échelle de la planète n'ont pas cessé d'augmenter sur la période 1970-2010, atteignant un record dans l'histoire de l'humanité en 2000-2010 (fig. 13) ; cette tendance s'est poursuivie en 2011-2015 (OMM, 2016).

Figure 13

Production anthropique annuelle totale de gaz à effet de serre sur la période 1970-2010 (GIEC, 2014)



36. Les taux de concentration de CO₂ et de N₂O en 2011-2014 ont été légèrement plus marqués que la moyenne de 1995-2014. Les concentrations de CH₄ ont à nouveau progressé également, après une période de relative stabilité en 1999-2006 (OMM, 2016). Au cours des deux dernières années (2014 et 2015), les concentrations moyennes annuelles de gaz à effet de serre ont augmenté. En 2014, les concentrations de CO₂, CH₄ et N₂O ont été respectivement de 397 ppm, 1 833 ppb, et 327,1 ppb (NOAA, 2015). Environ 44 % des émissions totales de CO₂ résultant d'activités humaines de 2004 à 2013 sont restés dans l'atmosphère, les 56 % restants étant absorbés par les océans et la biosphère terrestre (OMM, 2014, 2016).

37. Une ventilation des émissions anthropiques totales de gaz à effet de serre en 2010 a révélé que le CO₂ était responsable de 76 % de ces émissions (65 % étant dus à l'industrie et à la combustion d'énergies fossiles, et 11 % à l'exploitation des terres), contre 16 % pour le CH₄, 6 % pour le N₂O et 2 % pour les gaz fluorés (GIEC, 2014). Une analyse des émissions totales de CO₂ provenant de la combustion d'énergies fossiles pour la période 1971-2010 a révélé que cette tendance s'expliquait principalement par la croissance démographique et les habitudes de consommation/production (GIEC, 2014). Une évaluation des émissions de CO₂ rapportées au niveau de revenu du pays montre que lesdites émissions ont doublé dans les pays à revenu élevé à moyen (comme la Chine et l'Afrique du Sud) pour la période 1990-2010, atteignant pratiquement le niveau des pays à haut revenu comme les États-Unis et la majeure partie des pays de l'Union européenne (fig. 14). On observe aussi une augmentation notable des émissions de CO₂ dans les pays à revenu faible ou moyen (GIEC, 2014).

Figure 14

Production anthropique totale de gaz à effet de serre en 1970, 1990 et 2010 par secteur économique et par groupe de pays selon le niveau de revenu (GIEC, 2014)

