



---

**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 (deuxième 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 2 : « 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. 2.2) 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. Projections climatiques

2. La dynamique des facteurs climatiques désormais mieux consignée et mieux comprise (à savoir la température à la surface des terres et des mers, le niveau de la mer, l'étendue de la couverture glaciaire arctique, le bilan de masse des glaciers, etc.) évoque une modification importante du climat qui, dans certains cas, s'accélère. Cette information et les témoignages les plus récents en la matière donnent à penser que les facteurs climatiques qui influent sur les transports (CEE, 2013) sont « en train de se dégrader ».

3. L'océan est appelé à se réchauffer dans tous les scénarios RCP<sup>1</sup>. Le réchauffement le plus marqué à la surface des océans devrait se produire dans les régions tropicales et subtropicales. À plus grande profondeur, on s'attend que le réchauffement sera le plus prononcé dans l'océan Austral. Les estimations les plus fines du réchauffement des océans dans la couche des 100 m sous la surface donnent une valeur de 0,6 °C (RCP2.6) à 2,0 °C (RCP8.5), et pour la couche des 1 000 m une valeur de 0,3 °C (RCP2.6) à 0,6 °C (RCP8.5) d'ici à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle. Dans le cas du RCP4.5, la moitié de l'énergie absorbée par l'océan concernera les 700 m sous la surface et 85 % les 2 000 m sous la surface. Compte tenu des échelles de temps longues de ce transfert de chaleur entre les eaux de surface et les couches profondes, le réchauffement des océans se poursuivra pendant des siècles, même si les émissions de gaz à effet de serre sont stabilisées (GIEC<sup>2</sup>, 2013).

4. S'agissant de la température de l'air, une tendance à la hausse sur le long terme se dessine nettement. Selon les projections pour la fin du XXI<sup>e</sup> siècle, la température de l'air augmentera de 1,0 °C à 3,7 °C (estimations moyennes, voir le tableau 1) en fonction du scénario. En se guidant sur un éventail possible d'évolutions de la concentration en gaz à effet de serre (GIEC, 2013), on obtient comme estimation centrale (point médian) du réchauffement une élévation de 1,0 °C à 2,0 °C pour la période 2046-2065 par rapport à la moyenne de la période 1986-2005, tandis que, vers la fin du XXI<sup>e</sup> siècle (2081-2100), on prévoit une élévation comprise entre 1,0 °C et 3,7 °C. Toutefois, la fourchette des projections s'élargit, passant à une valeur comprise entre 0,3 °C et 4,8 °C, lorsqu'on tient compte des incertitudes du modèle dans les calculs.

---

<sup>1</sup> Profils représentatifs d'évolution de concentration.

<sup>2</sup> Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

Tableau 1

**Projections concernant la température moyenne à la surface du globe et le niveau moyen de la mer sur la période 2081-2100 (moyennes et fourchettes probables) par rapport à la période 1986-2005, selon différents scénarios (d'après GIEC, 2013)**

(Les prévisions sont calculées selon quatre scénarios de forçage radiatif (profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP)<sup>3</sup> : RCP 8.5, 6184 Gt CO<sub>2</sub> (cumul des émissions de CO<sub>2</sub> sur 2012-2100) ; RCP 6.0, 3890 Gt CO<sub>2</sub> ; RCP 4.5, 2863 Gt CO<sub>2</sub> ; RCP 2.6, 991 Gt CO<sub>2</sub>. Les changements de la température moyenne de surface sont calculés à partir de l'ensemble de modèles CMIP5 (plages de 5 % à 95 % des modèles). Les estimations relatives à l'élévation du niveau de la mer reposent sur 21 modèles CMIP5 (plages de 5 % à 95 % des modèles). L'évolution rapide dans la dynamique des calottes glaciaires et le stockage anthropique de l'eau dans les terres émergées sont considérés comme ayant des distributions de probabilité uniformes et comme étant en grande partie indépendants du scénario, étant donné que l'état actuel des connaissances ne permet pas d'évaluer cette dépendance de façon quantitative<sup>4</sup>.)

Scénario	Température		Élévation du niveau de la mer	
	Valeur moyenne (°C)	Fourchette probable (°C)	Valeur moyenne (m)	Fourchette probable (m)
RCP 2.6	1,0	0,3-1,7	0,40	0,26-0,55
RCP 4.5	1,8	1,1-2,6	0,47	0,32-0,63
RCP 6.0	2,2	1,4-3,1	0,48	0,33-0,63
RCP 8.5	3,7	2,6-4,8	0,63	0,45-0,82

### 1.2.1 Température et précipitations

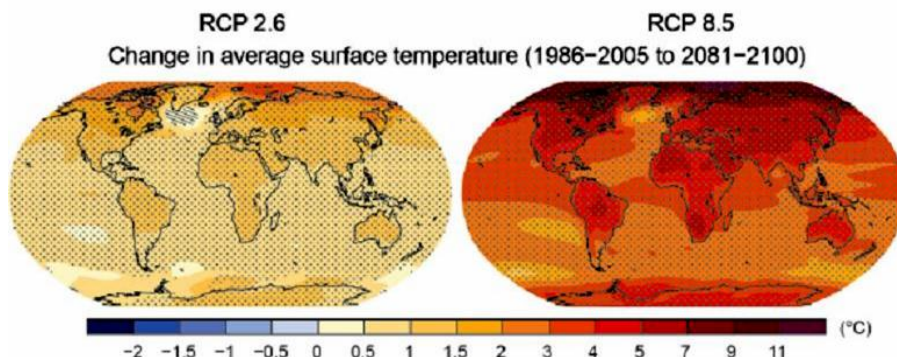
5. Le climat ne change pas de façon uniforme. En effet, les températures augmentent plus vite près des pôles qu'à l'Équateur (fig. 15 et 16). Les précipitations évoluent de façon bien plus complexe, certaines régions en recevant davantage, et d'autres moins qu'auparavant (CEE, 2013). Ces tendances devraient s'accélérer à l'avenir, comme dans l'est de la Méditerranée, où la pluviométrie devrait accuser une baisse atteignant jusqu'à 25 % durant la décennie 2020-2029 par rapport à la décennie 1990-1999 (GIEC, 2007). Tant dans le scénario d'une augmentation basse à modérée des émissions (RCP4.5) que dans celui d'une forte augmentation (RCP8.5), des hausses importantes de la température à la surface du globe sont à prévoir, surtout en ce qui concerne la partie septentrionale de la région de la CEE (GIEC, 2013).

<sup>3</sup> Les récentes prévisions du cinquième Rapport d'évaluation du GIEC (RE5) (2013) s'appuient sur des scénarios de profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP) et non sur les scénarios SRES du GIEC. Les concentrations en équivalent CO<sub>2</sub> ont été fixées aux valeurs suivantes (Moss *et al.*, 2010) : RCP 8.5, 1 370 équivalent CO<sub>2</sub> en 2100; RCP 6.0, 850 équivalent CO<sub>2</sub> en 2100; RCP 4.5, 650 équivalent CO<sub>2</sub> en 2100; RCP 2.6, pic à 490 équivalent CO<sub>2</sub> avant 2100.

<sup>4</sup> Selon ces scénarios, le niveau de la mer ne cessera pas de monter après 2100 mais continuera de s'élever pendant des siècles; en valeur médiane, cette élévation sera de 1,84 m et de 5,49 m pour le scénario de forçage le plus bas (RCP2.6) et le plus élevé, respectivement (RCP 8.5) à l'horizon 2500 (Jevrejeva *et al.*, 2012).

Figure 15

**Projection de l'évolution des températures moyennes entre 2081 et 2100 par comparaison avec la période 1986-2005 selon un scénario d'émissions basses (RCP2.6) et un scénario d'émissions élevées (RCP8.5) (GIEC, 2013)**

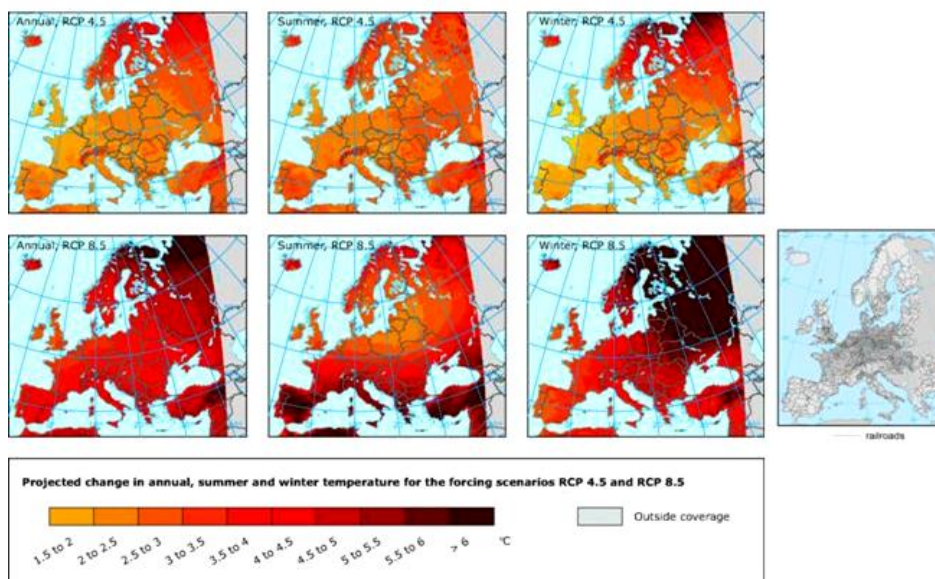


6. Les projections des modèles climatiques donnent à penser que la majeure partie de la région sud-ouest des États-Unis et de nombreuses autres régions subtropicales seront victimes d'épisodes de sécheresse à grande échelle d'ici au milieu ou à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle (Milly *et al.*, 2008 ; GIEC, 2013). En comparaison, alors que l'on prévoit des étés (généralement) plus secs au Royaume-Uni, les précipitations risquent d'y être plus intenses. Des simulations effectuées à partir de modèles montrent que des précipitations intenses associées à des crues soudaines (plus de 30 mm en l'espace d'une heure) pourraient devenir cinq fois plus fréquentes (MetOffice, 2014).

Figure 16

**Projections de l'évolution des températures atmosphériques annuelles (à gauche), estivales (au centre) et hivernales (à droite) entre 2071 et 2100, par comparaison à la période 1971-2000, selon les scénarios de forçage RCP4.5 (en haut) et RCP8.5 (en bas)**

(Simulations des modèles RCM (Initiative EURO-CORDEX). (Agence européenne de l'environnement (AEE), 2014a))



7. Les études donnent également à prévoir une diminution de la durée et de l'intensité des épisodes de sécheresse en Europe méridionale et dans la Méditerranée, en Europe centrale et dans certaines parties de l'Amérique du Nord (voir notamment GIEC, 2013). Parallèlement, des études récentes suggèrent que la majeure partie de la région sud-ouest de l'Amérique du Nord et les régions subtropicales pourraient connaître des épisodes de sécheresse graves et généralisés (GIEC, 2013) au cours des trente à quatre-vingt-dix années à venir (Dai, 2013).

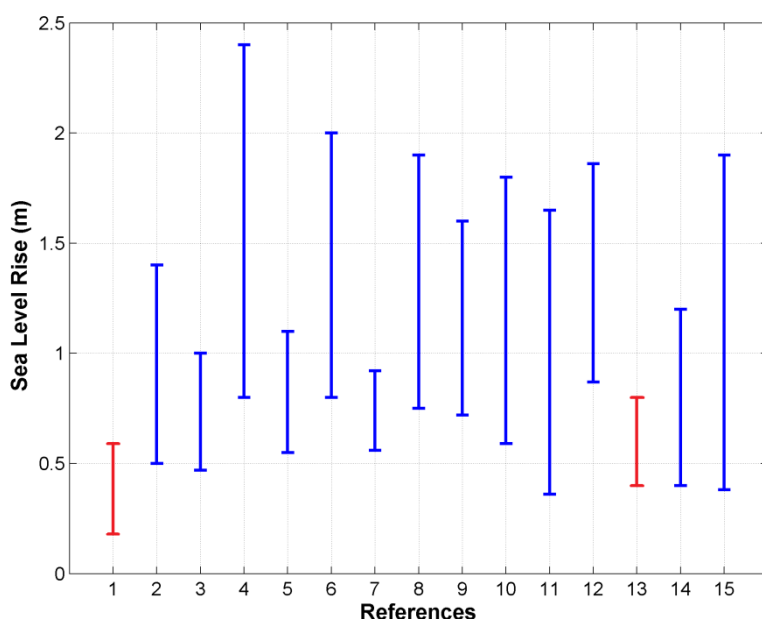
### 1.2.2 Élévation du niveau de la mer

8. Les prédictions de l'élévation du niveau de la mer s'appuyant sur des processus sont entachées des incertitudes qui entourent le comportement des calottes glaciaires du Groenland et de la partie ouest de l'Antarctique (Pritchard *et al.*, 2012), ainsi que l'effet stérique (Domingues *et al.*, 2008), les apports des glaciers de montagne (Raper et Braithwaite, 2009) et les pompes d'eau souterraine aux fins d'irrigation et de stockage dans des réservoirs (Wada *et al.*, 2012). La fonte des calottes glaciaires de l'Antarctique pourrait relever le niveau de la mer de plus d'un mètre d'ici à 2100 (De Conto et Pollard, 2016).

Figure 17

#### Projections récentes de l'élévation du niveau de la mer à l'horizon 2100, par comparaison avec les projections du GIEC (2007a)

(Key: 1, GIEC (2007a), 0,18-0,59 m ; 2, Rahmstorf *et al.* (2007) ; 3, Horton *et al.* (2008) ; 4, Rohling *et al.* (2008) ; 5, Vellinga *et al.* (2008) ; 6, Pfeffer *et al.* (2008) ; 7, Kopp *et al.* (2009) ; 8, Vermeer et Rahmstorf (2009) ; 9, Grinsted *et al.* (2010) ; 10, Jevrejeva *et al.* (2010) ; 11, Jevrejeva *et al.* (2012) ; 12, Mori *et al.* (2013) ; 13, GIEC (2013) ; 14, Horton *et al.* (2014) ; et 15, Dutton *et al.* (2015). La variabilité des projections est due à des hypothèses et des démarches parfois différentes).

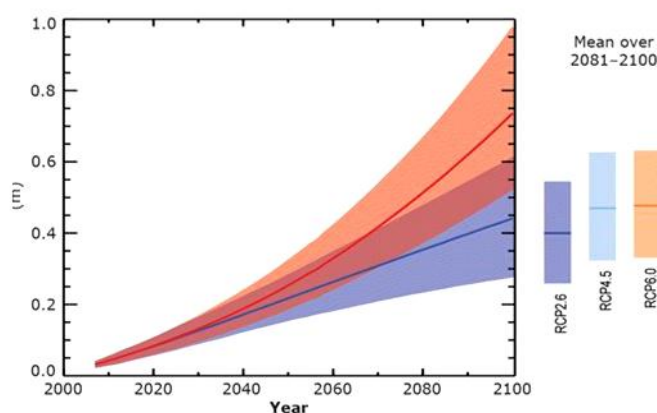


9. À l'échelle mondiale, le niveau moyen de la mer a augmenté de 0,19 m dans la période 1901-2013 (augmentation moyenne : 1,7 mm/an), mais cette tendance s'est accélérée au cours des deux dernières décennies, passant à 3,2 mm/an. Les projections sur la base des scénarios RCP2.6 et RCP8.5 indiquent une augmentation probable de 0,26-0,54 m et de 0,45-0,82 m respectivement sur la période 2081-2100 par comparaison avec la période 1986-2005 (fig. 18). On pense que l'accroissement de la pente de la courbe, qui

correspond à l'élévation du niveau des mers ces dernières décennies, est principalement due à la fonte croissante de la glace du Groenland et de l'Antarctique (Rignot *et al.*, 2011 ; Hanna *et al.*, 2013 ; GIEC, 2013). Des estimations s'appuyant sur d'autres méthodes tablent sur une élévation du niveau moyen de la mer beaucoup plus importante que ce qui était prévu une décennie plus tôt (GIEC, 2007). À noter que les estimations du GIEC sont systématiquement plus mesurées (fig. 17). Le niveau de la mer n'arrêtera pas de monter en 2100 (voir notamment Jevrejeva *et al.*, 2012), car les variations de la chaleur contenue dans les océans pourraient entraîner une expansion thermique se prolongeant au moins pendant plusieurs siècles, tandis que la fonte des glaces et la perte dynamique de glace en cours dans l'Antarctique et au Groenland se poursuivront elles aussi.

Figure 18

**Projection de l'élévation du niveau moyen de la mer à l'échelle mondiale dans le courant du XXI<sup>e</sup> siècle, par comparaison avec la période 1986-2005 (GIEC, 2013)**



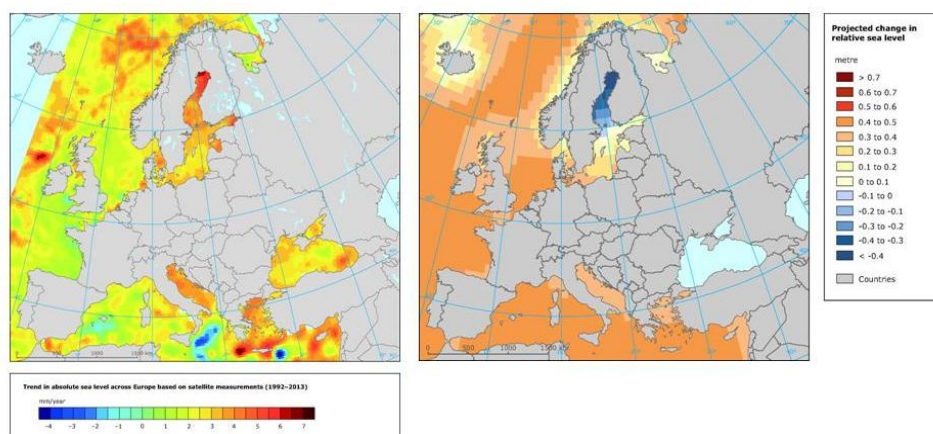
10. Il convient de noter qu'en raison des importantes variations spatiales constatées (et projetées) concernant l'élévation du niveau de la mer (fig. 19), les effets prévus sur les zones littorales doivent tenir compte des tendances régionales (voir entre autres Carson *et al.*, 2016). En plus des processus à l'œuvre au niveau planétaire, certains facteurs régionaux peuvent aussi influencer les changements constatés au niveau des côtes, comme la circulation des océans (circulation méridienne) et la différence de vitesse de fonte des glaces à l'échelle régionale, l'ajustement isostatique et la sédimentation (GIEC, 2013 ; King *et al.*, 2015 ; Carson *et al.*, 2016). L'étude du paléoclimat, les mesures instrumentales et les modèles ont montré que des facteurs mondiaux et régionaux pouvaient provoquer une hausse relativement rapide du niveau de la mer le long de certaines côtes, dépassant sensiblement la moyenne mondiale actuelle qui est d'environ 3 mm par an (voir entre autres Cronin, 2012). Au Royaume-Uni, l'élévation du niveau de la mer (hors modification du niveau des terres émergées) devrait être de 0,12-0,76 m au XXI<sup>e</sup> siècle, selon les projections et le scénario d'émissions retenu ; des hausses plus importantes sont prévues en cas de fonte accrue de la banquise (Lowe *et al.*, 2009). Pour le littoral néerlandais de la mer du Nord, Katsman *et al.* (2011) ont estimé que l'élévation du niveau de la mer atteindrait entre 0,40-1,05 m dans la partie supérieure de la fourchette des prévisions d'émissions, qui est un scénario plausible. À partir de 12 modèles climatiques mondiaux et en se fondant sur trois scénarios différents de concentration des émissions, Marcos et Tsimplis (2008) ont calculé qu'au XXI<sup>e</sup> siècle, l'élévation du niveau de la mer sous l'effet du changement de température atteindrait de 0,03 à 0,61 m en Méditerranée ; cette hausse s'accompagnerait d'une élévation liée à la salinité comprise entre 0,22 et 0,31 m (voir aussi AEE, 2012).



Figure 19

### Tendances concernant le niveau marin absolu en Europe, telles que résultant des mesures effectuées par satellite (1992-2013) (AEE, 2014b)

(Évolution projetée du niveau marin relatif durant la période 2081-2100 par comparaison à la période 1986-2005 selon le scénario RCP4.5 correspondant à une concentration d'émissions moyenne à faible (à partir d'un ensemble de modèles climatiques CMIP5). Aucune projection n'est disponible pour la mer Noire (AEE, 2014c))

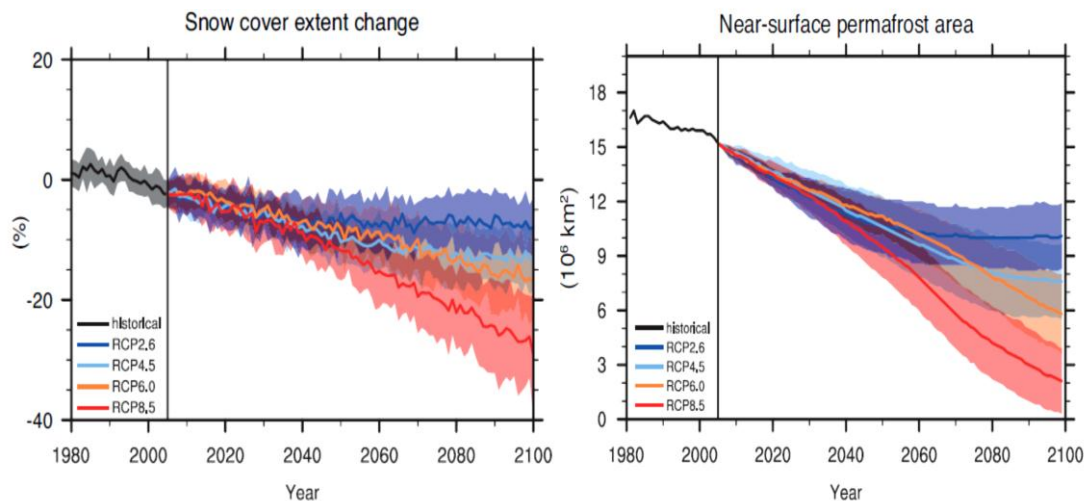


### 1.2.3 Fonte de la calotte glaciaire, de la couverture neigeuse et du pergélisol dans l'Arctique

11. On prévoit une augmentation des averses de neige et de pluie dans l'Arctique en toute saison, mais surtout l'hiver ; en maints endroits, l'épaisseur maximale de la couverture neigeuse en hiver devrait donc s'accroître, cette évolution se faisant surtout sentir en Sibérie (de 15 % à 30 % en plus d'ici à 2050). Cependant, la neige se maintiendrait au sol 10 % à 20 % de temps en moins chaque année sur la majeure partie de l'Arctique en raison de la fonte précoce au printemps (AMAP, 2012). Au printemps, la couverture neigeuse dans l'hémisphère Nord diminuera de 7 % d'ici à 2100 selon le scénario RCP2.6 et de 25 % selon le scénario RCP8.5 (fig. 20a). Les modèles prévoient un dégel continu du pergélisol dû à la hausse des températures mondiales et à l'évolution de la couverture neigeuse (AMAP, 2012). À l'heure actuelle, la vitesse du réchauffement à la surface du pergélisol en Europe est comprise entre 0,04 et 0,07 °C/an (AEE, 2015a). Même si de nombreux facteurs sont à prendre en compte dans une tentative d'évaluation de l'ampleur des changements qui devraient s'opérer au niveau du pergélisol, et notamment ceux concernant les processus pédologiques, les scénarios de forçage climatique et la physique des modèles, il faudrait s'attendre à un recul du pergélisol de l'ordre de 37 % selon le scénario RCP2.6 et de 81 % selon le scénario RCP8.5 d'ici à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle (niveau de confiance moyen) (fig. 20b). Comme pour les glaciers de montagne et les calottes glaciaires, les projections des modèles climatiques indiquent également une diminution massive de 10 % à 30 % d'ici à la fin du siècle (AMAP, 2012).

Figure 20

**Projection des changements attendus au niveau de l'étendue de la couverture neigeuse et de la couche du pergélisol proche de la surface selon quatre scénarios RCP (tirés de l'ensemble de modèles CMIP5) (GIEC, 2013)**



12. Dans les décennies à venir, il est très probable que la glace de l'Arctique continuera de diminuer en étendue et en épaisseur sous l'effet de l'élévation des températures moyennes à l'échelle mondiale, encore qu'il faille s'attendre à une variabilité considérable d'une année sur l'autre (fig. 20a). À partir de l'ensemble de modèles CMIP5, les projections concernant l'étendue de la calotte glaciaire arctique suggèrent une réduction moyenne, sur la période 2081-2100, par comparaison avec la période 1986-2005, pouvant atteindre entre 8 % et 34 % en février et entre 43 % et 94 % en septembre (limites inférieures et supérieures correspondant respectivement aux scénarios RCP2.6 et RCP8.5) (GIEC, 2013).

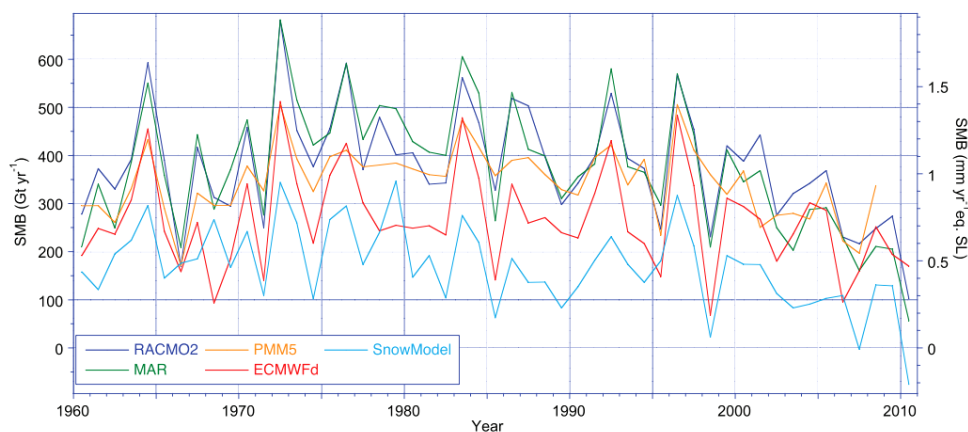
13. Le réchauffement continu de la planète aura d'importantes répercussions sur la calotte glaciaire du Groenland dans les prochaines décennies. Dans les conditions climatiques que nous connaissons aujourd'hui, le Groenland présente un bilan massique de surface positif mais en diminution, ce qui suppose un apport supplémentaire à l'élévation du niveau moyen de la mer. D'après les éléments disponibles, il est très improbable que les changements au niveau du bilan massique de surface se traduisent par une diminution irréversible de la calotte glaciaire du Groenland au cours du XXI<sup>e</sup> siècle ; une telle diminution semble en revanche probable sur des échelles de temps séculaires ou millénaires selon les scénarios de forçage les plus sévères (GIEC, 2013). Les estimations des écarts d'accumulation moyen et type (les précipitations moins la sublimation) pour 1961-1990 sont de  $-1,62 \pm 0,21$  mm an<sup>-1</sup>. Toutes les informations disponibles montrent qu'il n'y a pas eu d'évolution significative au niveau du bilan massique de surface du Groenland entre les années 1960 et les années 1980 ; ce bilan a commencé à présenter des valeurs moins positives au début des années 1990 (à savoir une baisse moyenne de 3 % an<sup>-1</sup>). Il en résulte un apport statistiquement significatif et en hausse à l'élévation du niveau moyen de la mer à l'échelle mondiale (fig. 21). Selon le GIEC (2013), l'évolution dynamique de la calotte glaciaire du Groenland au cours du siècle prochain devrait contribuer (niveau de confiance moyen) à une élévation du niveau de la mer de l'ordre de 20 à 85 mm dans un scénario RCP8.5, et de 14 à 63 mm dans tous les autres scénarios. D'autres études donnent une élévation du niveau de la mer de  $0,92 \pm 0,26$  mm an<sup>-1</sup> par comparaison avec la période 1961-1990 pour le bilan massique de surface (accumulation moins le ruissellement, et compte non tenu de l'érosion de la couverture neigeuse dérivante) (Hansen *et al.*, 2016).



Par comparaison, le bilan massique de surface de la calotte glaciaire antarctique devrait s'accroître dans la plupart des scénarios du fait d'une tendance à la hausse des chutes de neige. Un bilan massique de surface négatif dans l'Antarctique risquerait cependant de relever le niveau de la mer de plus d'un mètre ici à 2100 (De Conto et Pollard, 2016).

Figure 21

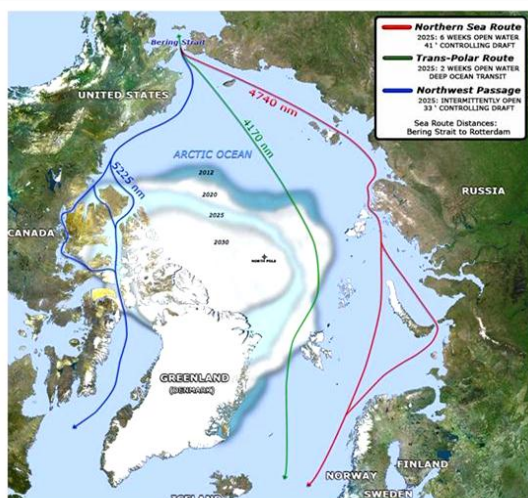
**Bilan massique de surface (moyenne annuelle) de la calotte glaciaire du Groenland – simulation obtenue à partir de cinq modèles climatiques régionaux pour la période 1960-2010 (Hansen *et al.*, 2016)**



14. S'agissant de la glace de l'Arctique, la marine des États-Unis prévoit l'ouverture de trois voies maritimes majeures d'ici à 2025, ce qui ne va toutefois pas sans poser plusieurs risques pour l'environnement (fig. 22). Il se peut qu'apparaissent de nouvelles opportunités économiques pour les communautés vivant dans l'Arctique dans la mesure où le recul de la glace facilitera l'accès à d'importants gisements d'hydrocarbures (dans les mers de Beaufort et des Tchouktches), et donc le commerce international. Dans le même temps, les infrastructures existantes et tous les aménagements à venir subiront les effets du dégel du pergélisol et de l'action des vagues sur les côtes, sous l'effet de la variabilité et des changements climatiques.

Figure 22

**Nouvelles voies maritimes dans l'Arctique (U.S. Climate Resilience Toolkit, 2015)**

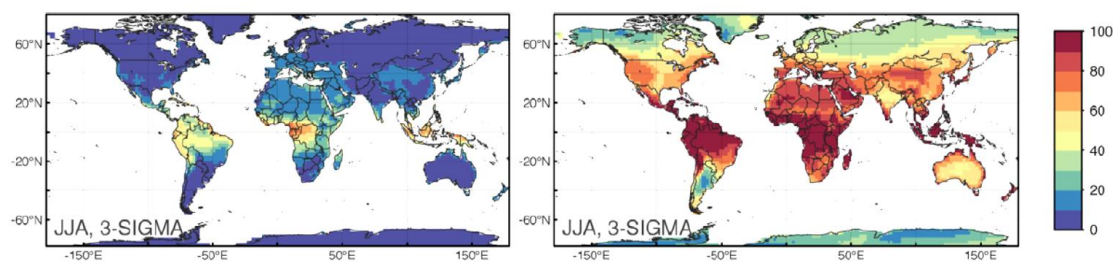


15. Il faut s'attendre, d'ici à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle, à une augmentation des épisodes de canicule et à une diminution des hivers très rigoureux, sachant que la fréquence, la durée et l'ampleur de tels épisodes subiront l'influence du forçage anthropique (GIEC, 2013). Des changements plus marqués à la saison chaude devraient se produire dans les régions subtropicales et de latitude moyenne (fig. 23), tandis que la fréquence des épisodes de grand froid diminuera dans toutes les régions. Les projections montrent que les étés très chauds seront nettement plus fréquents dans l'avenir, dans tous les scénarios de changements climatiques.

Figure 23

**Projection des changements susceptibles de se produire dans la période 2071-2100 en termes de pics de chaleur saisonniers selon les scénarios RCPs 2.6 et 8.5.**

(Dans les régions en jaune/orange/rouge il faut s'attendre à (au moins) un été sur deux plus chaud que l'été le plus chaud de la période 1901-2100 (Coumou et Robinson, 2013))



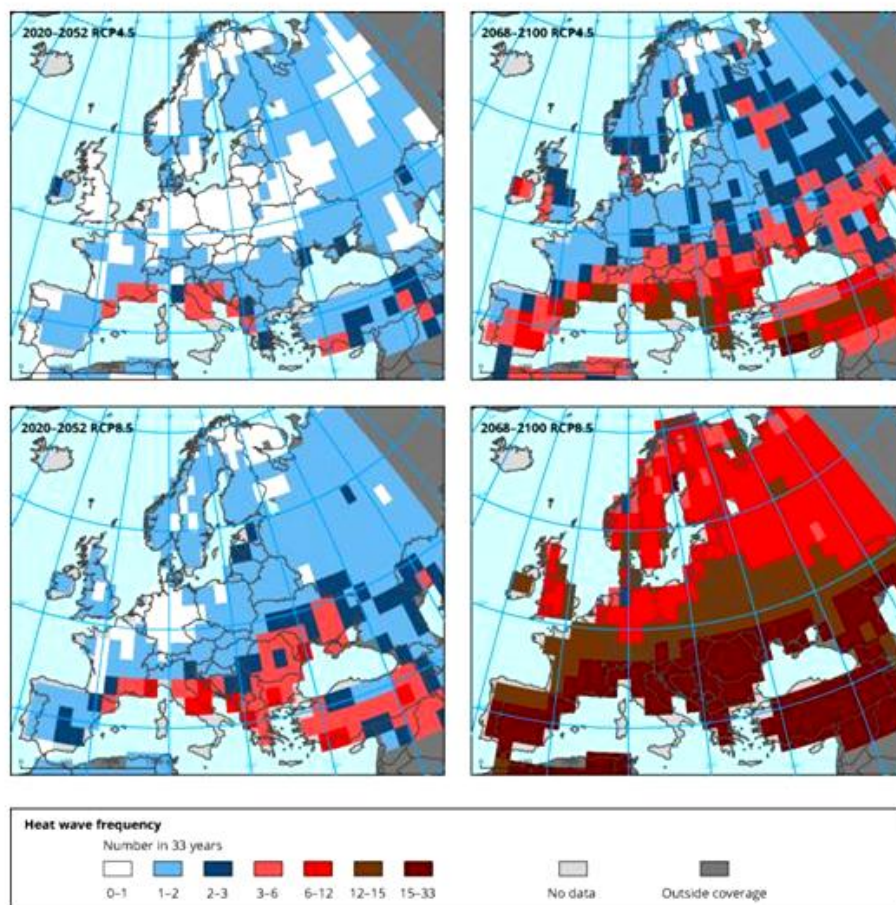
**Vagues de chaleur**

16. Il est également probable que la fréquence et la durée des vagues de chaleur (périodes prolongées de chaleur excessive) augmenteront sous l'effet, principalement, de la tendance à la hausse de la température saisonnière moyenne (fig. 23). Sur la terre ferme, on peut tabler, dans la plupart des régions, sur une multiplication par deux de la fréquence des épisodes de grande chaleur se produisant aujourd'hui tous les vingt ans (encore que, dans de nombreuses régions, de tels épisodes puissent se produire tous les ans ou tous les deux ans), tandis que les épisodes de grand froid qui ont aussi aujourd'hui une récurrence de vingt ans, connaîtront un recul spectaculaire selon le scénario RCP8.5 (GIEC, 2013). Une nette augmentation des vagues de chaleur est prévue en Europe, avec des températures probablement élevées en été, surtout selon le scénario RCP8.5 (fig. 24).

17. Une vague de chaleur aussi sévère que celle de 2003 peut se produire environ une fois en l'espace d'un siècle dans les conditions climatiques actuelles ; au début du troisième millénaire, on estimait qu'un tel épisode pourrait se produire environ une fois en l'espace de plusieurs millénaires. Selon une étude d'attribution, l'action anthropique a pour effet de multiplier au moins par deux le risque de voir se produire un tel épisode (MetOffice, 2014). De plus, des études récentes suggèrent que la probabilité de récurrence d'une vague de chaleur extrême telle que celle ayant touché la Russie en 2010 pourrait être 5 à 10 fois supérieure d'ici à 2050 (Dole *et al.*, 2011).

Figure 24

Projection (valeur médiane) de la récurrence des vagues de chaleur (à partir d'un ensemble de modèles) dans un futur proche (2020-2052) et dans un futur plus lointain (2068-2100) selon les scénarios RCP4.5 et RCP 8.5 (AEE, 2015b)



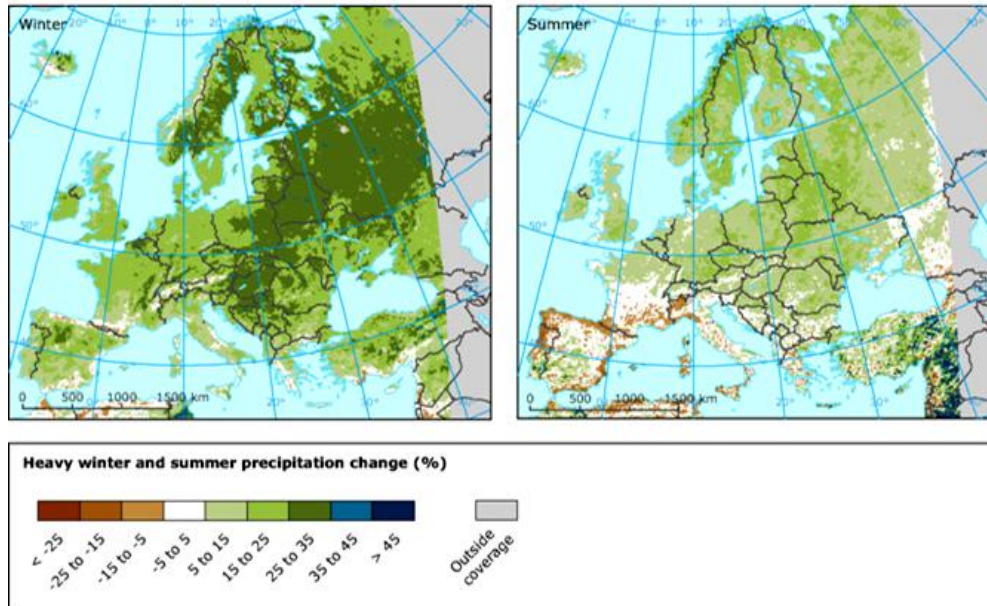
## Précipitations

18. Les épisodes extrêmes liés au cycle de l'eau – comme les sécheresses, les pluies intenses et les inondations – occasionnent d'ores et déjà des dommages considérables. À mesure que la température augmentera, les précipitations moyennes montreront une importante variation spatiale ; d'après le scénario RCP8.5, on peut s'attendre à une augmentation des précipitations aux latitudes moyennes-élevées et à une diminution des précipitations dans les régions subtropicales arides et semi-arides d'ici à la fin de ce siècle. Les épisodes de précipitations extrêmes seront très probablement plus intenses sur la majeure partie des régions de latitude moyenne et des régions tropicales humides (GIEC, 2013). En ce qui concerne l'Europe centrale et du Nord-Est, les projections montrent un accroissement net (25 %) des précipitations intenses d'ici à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle (fig. 25). Les modèles climatiques de haute résolution montrent que les fortes pluies d'été pourraient s'intensifier avec le changement du climat (MetOffice, 2014). Pour le Royaume-Uni, même si, dans l'ensemble, il faut s'attendre à des étés plus secs, les épisodes de fortes pluies en été (plus de 30 mm en l'espace d'une heure) pourrait être pratiquement cinq fois plus fréquents (MetOffice, 2014).



Figure 25

**Projection de l'évolution des fortes précipitations (en %) en hiver et en été entre les périodes 1971-2000 et 2071-2100 selon le scénario RCP8.5, obtenue à partir d'une moyenne d'ensemble des modèles climatiques régionaux s'inscrivant eux-mêmes dans les modèles climatiques généraux (MCG) (AEE, 2015c)**



### Ondes de tempête et inondations fluviales

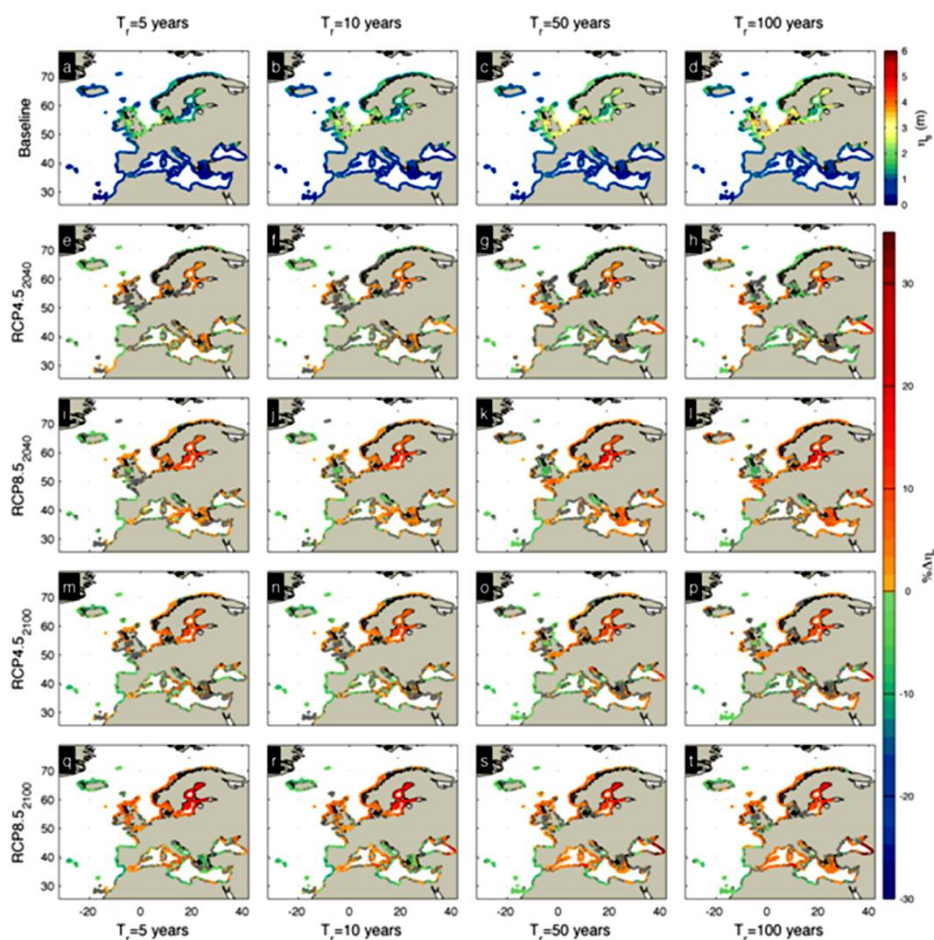
19. En dépit des risques que laissent entrevoir les changements en termes de niveaux extrêmes des eaux côtières, on ne possède toujours que peu d'informations – voire pas du tout – en ce qui concerne les projections des niveaux d'ondes de tempête selon les différents profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP) (GIEC 2013). Cela s'explique essentiellement par le fait que la plupart des études réalisées précédemment se cantonnaient à l'échelle locale ou régionale. Autrement dit, a) il existe plusieurs régions pour lesquelles on ne dispose d'aucune information concernant l'élévation prévue du niveau de la mer, et b) l'existence de différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre et de modèles sur le climat et les océans, ainsi que la diversité des environnements en zone côtière font qu'il est difficile de tirer des conclusions générales à l'échelle mondiale ou régionale.

20. En ce qui concerne l'Europe, les projections donnent des niveaux plus importants d'ondes de tempête dans l'Atlantique, de même que sur les côtes et dans les ports de la Baltique, dans tous les scénarios et pour tous les épisodes de tempête extrêmes ayant fait l'objet de tests (Vousdoukas *et al.*, 2016). La mer du Nord est un secteur où l'on observe quelques-uns des plus hauts niveaux d'ondes de tempête en Europe (fig. 26), et les projections en la matière montrent une augmentation des valeurs extrêmes, surtout le long de la côte est. Les projections montrent une intensification de ce phénomène le long des côtes atlantiques du Royaume-Uni et de l'Irlande, due en partie à une aggravation constante des conditions hivernales extrêmes. La côte atlantique de la France, de l'Espagne et du Portugal est elle aussi exposée à des vagues extrêmement fortes en provenance de l'Atlantique Nord (Pérez *et al.*, 2014). La mer Méditerranée a fait l'objet d'une étude portant sur la dynamique projetée des ondes de tempête, dont se dégage le constat unanime, au regard des scénarios SRES, que la fréquence et l'intensité des phénomènes extrêmes ne

sont pas appelés à croître, mais peut-être à décroître (Conte et Lionello, 2013 ; Androulidakis *et al.*, 2015). Ce constat s'accorde avec les tendances historiques rapportées (Menéndez et Woodworth, 2010), et avec des constatations plus récentes, projetant les changements pour l'essentiel dans une fourchette de  $\pm 5\%$ , en plus ou en moins (Vousdoukas *et al.*, 2016). Le nord de l'Adriatique est une région qui a été étudiée de façon plus approfondie en raison du secteur de Venise, très vulnérable et important du point de vue socio-économique, les projections précédentes parmi les plus récentes n'ayant fait apparaître aucun changement statistiquement significatif, voire plutôt une amélioration (Mel *et al.*, 2013), même si Lionello *et al.* (2012) ont obtenu des projections d'intensification de la fréquence des épisodes extrêmes aux alentours de Venise, d'après le scénario SRES B2.

Figure 26

**Moyenne d'ensemble des niveaux extrêmes d'ondes de tempête (m) le long des côtes de l'Europe, pour des périodes de récurrence de cinq, dix, cinquante et cent ans (chaque période est reflétée dans une colonne distincte), et par rapport à une période de référence (a–d), avec les changements relatifs projetés selon les scénarios RCP4.5 2040 (e–h), RCP8.5 2040 (i–l), RCP4.5 2100 (m–p) et RCP8.5 2100 (q–t). Les couleurs chaudes/froides traduisent respectivement l'intensification ou la diminution du phénomène ; la couleur grise indique les régions le moins en concordance avec les modèles (Vousdoukas *et al.*, 2016).**

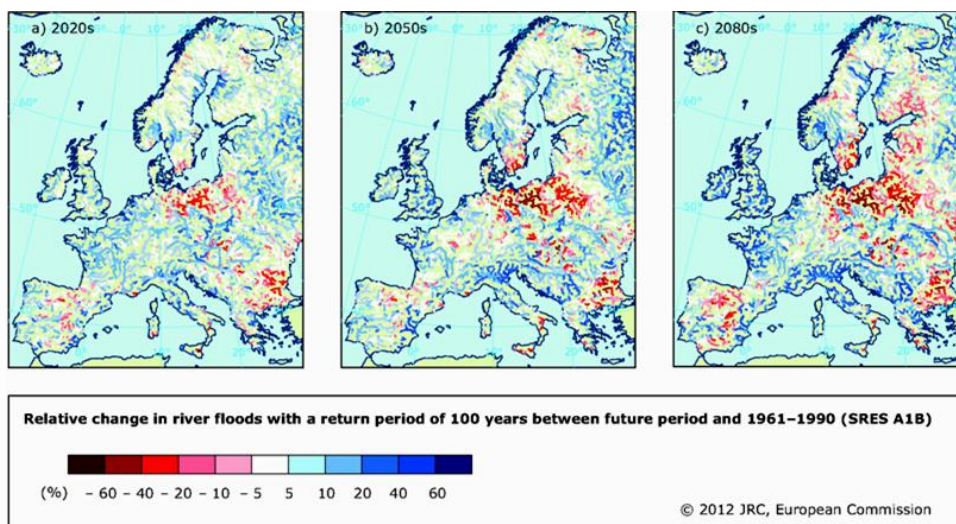


21. On notera que plus de 200 millions de personnes dans le monde vivent le long des côtes à moins de 5 m au-dessus du niveau de la mer ; d'ici à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle, ce sont même 400 à 500 millions de personnes qui pourraient ainsi être concernées. L'exposition croissante au risque (pour les populations comme pour les biens), l'élévation du niveau des mers due aux changements climatiques, et, dans certaines régions, l'affaissement significatif du littoral dû au drainage des eaux côtières et au pompage des eaux souterraines, aggraveront le risque d'inondation à des degrés divers. Ainsi, une élévation d'un mètre du niveau marin relatif multiplie par 40 la fréquence centennale des épisodes de crue à Shanghai, par 200 à New York et par 1 000 à Kolkata (OMM<sup>5</sup>, 2014). Selon Hallegatte *et al.* (2013), dans les quelque cinquante prochaines années, les projections suivantes pourraient concerner les 136 plus grandes villes côtières : i) des dommages supplémentaires à hauteur de 6 à 52 milliards de dollars des États-Unis par an du fait du simple accroissement de la population et des biens exposés ; ii) des pertes annuelles proches du trillion de dollars des États-Unis par an, sauf à renforcer les moyens mis en place pour lutter contre les inondations ; iii) même en cas de renforcement desdits moyens, une aggravation des pertes du fait de la gravité accrue des inondations résultant de l'augmentation des hauteurs d'eau faisant suite à l'élévation du niveau marin relatif. Ceci pose la question de savoir s'il existe des seuils au-delà desquels les tendances actuelles et projetées de croissance des populations côtières pourraient s'inverser (King *et al.*, 2015).

22. Les inondations fluviales posent elles aussi une menace significative pour la population mondiale car les preuves ne manquent pas d'une fréquence accrue de débits extrêmes. L'ampleur des dommages reflétera pour l'essentiel l'exposition des populations et des infrastructures, qui ne cesse de croître dans les zones inondables (GIEC, 2013). La figure 27 présente les changements auxquels l'Europe doit s'attendre sur le plan des inondations fluviales.

Figure 27

**Évolution relative du débit fluvial minimal à compter de a) 2020, b) 2050 et c) 2080, par comparaison avec la période 1961-1990 dans le cadre du scénario SRES A1B (AEE, 2012)**



23. La figure 28 montre, région par région, une augmentation de plus de 50 % du risque d'inondation dû aux changements climatiques pour les populations aujourd'hui exposées à

<sup>5</sup> Organisation météorologique mondiale.

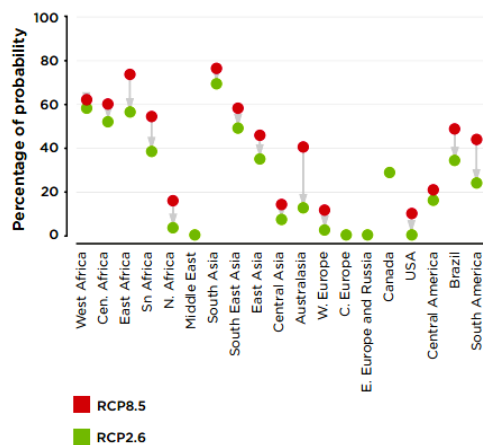


un risque de crue trentenaire, par comparaison avec la situation dans laquelle les populations ne seraient pas concernées par les changements climatiques. D'ici à 2050, il existe un risque d'au moins 50 % de voir les changements climatiques à eux seuls accroître de moitié la menace d'inondation pour les populations de l'Afrique subsaharienne, et de 30 % à 70 % la même menace pesant sur les populations asiatiques. D'ici à 2100, le risque sera plus élevé encore (King *et al.*, 2015). L'évolution démographique à elle seule condamne un plus grand nombre de personnes à être inondées. À l'échelle mondiale, le total des personnes menacées s'accroît de façon tout à fait considérable, soit de cinq à six fois plus en l'espace d'un siècle selon le scénario de concentration élevée des émissions RCP8.5, en raison essentiellement d'une augmentation de ces dernières en Asie du Sud, du Sud-Est et de l'Est (King *et al.*, 2015).

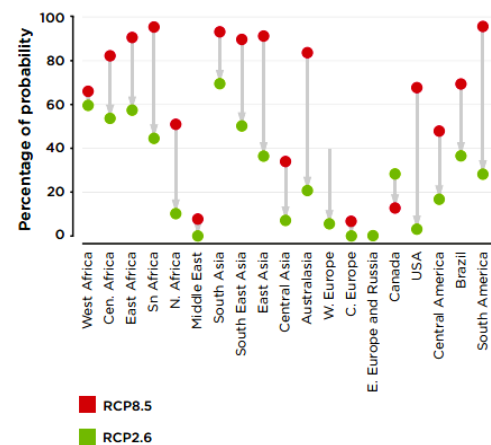
Figure 28

**Probabilité, selon deux scénarios RCP, d'une augmentation de plus de 50 % du risque d'inondation sous l'effet des changements climatiques pour les populations aujourd'hui exposées à un risque de crue trentenaire, par comparaison avec la situation dans laquelle les populations ne seraient pas concernées par les changements climatiques. Cette simulation part de l'hypothèse d'une croissance démographique moyenne (King *et al.*, 2015)**

2050: probability of number of people affected by flooding increasing by >50%



2100: probability of number of people affected by flooding increasing by >50%



## Bibliographie

AMAP, 2012. Arctic Climate Issues 2011: Changes in Arctic Snow, Water, Ice and Permafrost. SWIPA 2011. Rapport d'ensemble.

Alfieri, L., Feyen, L., Dottori, F. et Bianchi A., 2015. Ensemble flood risk assessment in Europe under high end climate scenarios. *Global Environmental Change*, 35, p. 199 à 212 (doi:10.1016/j.gloenvcha.2015.09.004).

Androulidakis, Y. S., Kombiadou, K. D., Makris, C. H., Baltikas, V. N. et Krestenitis, Y. N., 2015. Storm surges in the Mediterranean Sea: Variability and trends under future climatic conditions, *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 71, p. 56 à 82.

Beniston, M. et Diaz, H. F., 2004. The 2003 heat wave as an example of summers in a greenhouse climate? Observations and climate model simulations for Basel, Switzerland. *Global and Planetary Change*, 44, p. 73 à 81.

- Bertin, X., Prouteau, E. et Letetrel, C. 2013. A significant increase in wave height in the North Atlantic Ocean over the 20th century. *Global and Planetary Change*, 106, p. 77 à 83.
- Caldeira, K. 2009. Ocean acidification: Humanity and the environment in geologic time, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences*, 6(3), 462004.
- Canadell, J. G., Le Quere, C., Raupach, M. R., Field, C. R., Buitenhuis, E., Ciais, P., Conway, T. J., Gillett, N. P., Houghton, R. A. et Marland, G., 2007. Contributions to accelerating atmospheric CO<sub>2</sub> growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Compte rendu des travaux de l'Académie des sciences*, 104, p. 18866 à 18870.
- Carson, M., Kohl, A., Stammer, D., Slangen, A. B. A., Katsman, C. A., van de Wal, R. S. W., Church, J. et White, N., 2016. Coastal sea level changes, observed and projected during the 20th and 21st century. *Climatic Change*, 134, p. 269 à 281 (doi: 10.1007/s10584-015-1520-1).
- Church, J. A. et White, N. J. 2006. A 20th century acceleration in global sea-level rise. *Geophysical Research Letters*, 33, L01602 (doi:10.1029/2005GL024826).
- Church, J. A. ; Clark, P. U. ; Cazenave, A. ; Gregory, J. M. ; Jevrejeva, S. ; Levermann, A. ; Merrifield, M. A. ; Milne, G. A. ; Nerem, R. S. ; Nunn, P. D. ; Payne, A. J. ; Pfeffer, W. T. ; Stammer, D. ; Unnikrishnan, A. S., 2013. Sea level change. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, sous la direction de Stocker, T. F. ; Qin, D. ; Plattner, G.-K. ; Tignor, M. ; Allen, S. K. ; Boschung, J. ; Nauels, A. ; Xia, Y. ; Bex, V. ; Midgley, P. M. ; Cambridge ; Royaume-Uni ; 2013 ; 1137 à 1216.*
- Conte, D. et Lionello, P., 2014. Storm Surge Distribution Along the Mediterranean Coast: Characteristics and Evolution, *Procedia -Social and Behavioral Sciences*, 120, p. 110 à 115 (ISSN 1877-0428).
- Coumou, D. et Rahmstorf, S., 2012. A decade of weather extremes. *Nature Climate Change*, 29, p. 491 à 496 (doi:10.1038/nclimate1452).
- Coumou D. et Robinson A., 2013. Historic and future increase in the global land area affected by monthly heat extremes. *Environmental Research Letters* 8 (3) <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/8/3/034018/meta>.
- Cowtan, K. et Way, R. G., 2014. Coverage bias in the HadCRUT4 temperature series and its impact on recent temperature trends. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 140, p. 1935 à 1944 (doi: 10.1002/qj.2297).
- Cronin, T. M., 2012. Rapid sea-level rise. *Quaternary Science Reviews*, 56, p. 11 à 30.
- Dai, A. 2013. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Clim. Change*, 3, p. 52 à 58.
- De Conto, R. M. et Pollard, D. 2016. Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise. *Nature*, 531, p. 591 à 596 (doi: 10.1038/nature17145).
- Dole *et al.*, 2011. Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave? *Geophys. Res. Lett.*, 38, L06702.
- Domingues, C. M., Church, J. A., White, N. J., Gleckler, P. J., Wijffels, S. E., Barker, P. M. et Dunn, J. R. 2008. Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise. *Nature*, 453, p. 1090 à 1094.
- Dutton A., A. E. Carlson, A. J. Long, G. A. Milne, P. U. Clark, R. DeConto, B. P. Horton, S. Rahmstorf, et M. E. Raymo, 2015. Sea-level rise due to polar ice-sheet mass loss during

past warm periods. *Science*, 349, 6244 <https://marine.rutgers.edu/pubs/private/Science-2015-Dutton-.pdf>.

CEE, 2013. Effets des changements climatiques et adaptation à ces changements dans les réseaux de transports internationaux, Commission économique pour l'Europe, New York et Genève, 2013, 225 pages.

AEE, 2010. The European environment: State and outlook 2010, Adapting to climate change. European Environmental Agency, Copenhagen (ISBN 978-92-9213-159-3).

AEE, 2012. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. An indicator-based report. European Environmental Agency (AEE), Copenhagen, Danemark, 300 pages (ISBN 978-92-9213-346-7)

AEE, 2014a. Projected changes in annual, summer and winter temperature. [Carte cliquable]. Agence européenne pour l'environnement (AEE). Accessible à l'adresse : <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/projected-changes-in-annual-summer-1> [Consulté le 01/03/2016].

AEE, 2014b. Trend in absolute sea level in European Seas based on satellite measurements (1992–2013). [Carte cliquable]. Agence européenne pour l'environnement (AEE). Accessible à l'adresse : <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/sea-level-changes-in-europe-october-1992-may-1> [Consulté le 01/03/2016].

AEE, 2014c. Projected change in relative sea level. [Carte cliquable]. Agence européenne pour l'environnement (AEE). Accessible à l'adresse : <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/projected-change-in-sea-level> [Consulté le 01/03/2016].

AEE, 2015a, Global megatrends assessment: Extended background analysis complementing the SOER 2015 « Assessment of global megatrends ». Agence européenne pour l'environnement, Copenhagen (ISSN 1725-2237).

AEE, 2015b. Number of extreme heat waves in future climates under two different climate forcing scenarios. Accessible à l'adresse : <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/number-of-extreme-heat-waves> [Consulté le 13/07/2015].

AEE, 2015c. Projected changes in heavy precipitation (in per cent) in winter and summer from 1971-2000 to 2071-2100 for the RCP8.5 scenario based on the ensemble mean of different regional climate models (RCMs) nested in different general circulation models (GCMs). Accessible à l'adresse <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/projected-changes-in-20-year-2> [Consulté le 21/03/2016].

Emanuel, K. 2005. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, 436, p. 686 à 688.

Engelhart, S. E., Horton, B. P., Douglas, B. C., Peltier, W. R. et Törnqvist, T. E., 2009. Spatial variability of late Holocene and 20th century sea-level rise along the Atlantic coast of the United States. *Geology*, 37, p. 1115 à 1118.

EPA, 2015. Precipitation Worldwide, 1901-2013 [Online image]. Accessible à l'adresse : <https://www3.epa.gov/climatechange/science/indicators/weather-climate/precipitation.html> [Consulté le 03/02/2016].

Feyen L., Dankers R. et Bodis K., 2010. Climate warming and future flood risk in Europe. *Climatic Change*.

Gehrels, W. R. et Woodworth, P. L. 2012. When did modern rates of sea-level rise start? *Global Planet Change*, 100, p. 263 à 277.

GISTEMP, 2016: NASA Goddard Institute for Space Studies - GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP). Accessible à l'adresse : <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>.

- Grinsted A, Moore J. C. et Jervejeva S., 2010. Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100 AD. *Climate Dynamics* 34, p. 461 à 472.
- Hallegatte, S., Green, C., Nicholls, R. J. et Corfee-Morlot, J., 2013. Future flood losses in major coastal cities, *Nature Climate Change*, 3, p. 802 à 806 (doi:10.1038/NCLIMATE1979).
- Hanna, E. *et al.*, 2013. Ice sheet mass balance and climate change. *Nature*, 498, p. 51 à 59.
- Hansen, J., Sato, M., Hearty, P., Ruedy, R., Kelley, M., Masson-Delmotte, V., Russell, G., Tselioudis, G., Cao, J., Rignot, E., Velicogna, I., Tormey, B., Donovan, B., Kandiano, E., von Schuckmann, K., Kharecha, P., LeGrande, A. N., Bauer, M. et K.-W. Lo., 2016. Ice melt, sea level rise and superstorms: Evidence from paleoclimate data, climate modeling, and modern observations that 2°C global warming could be dangerous. *Atmos. Chem. Phys.*, 16, p. 3761 à 3812 (doi:10.5194/acp-16-3761-2016).
- Hay, C. C., Morrow, E., Kopp, R. E. et Mitrovica, J. X., 2015. Probabilistic reanalysis of twentieth-century sea-level rise, *Nature*, 517, p. 481 à 484.
- Horton, R., Herweijer, C., Rosenzweig, C., Liu, J., Gornitz, V., et Ruane, A. C., 2008. Sea level rise projections for current generation CGCMs based on the semi-empirical method. *Geophysical Research Letters* 35 DOI:10/1029/2007GL032486.
- Horton, B. P., Rahmstorf, S., Engelhart, S.E. et Kemp, A. C., 2014. Expert assessment of sea-level rise by AD 2100 and AD 2300, *Quaternary Science Reviews*, 84, p. 1 à 6.
- GIEC, 2007. Changements climatiques 2007. Les éléments physiques. Contribution du Groupe de travail I au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Solomon S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor et de H. L. Miller (éd.)). Cambridge University Press, Cambridge, R-U et New York, NY, États-Unis, 996 pages.
- GIEC, 2013. Changements climatiques 2013. Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P. M. Midgley (éd.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY, États-Unis.
- GIEC, 2014. Résumé à l'intention des décideurs, dans : Changements climatiques 2014 : Incidence, adaptation et vulnérabilité. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Field, C. B., V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, et L. L. White (éd.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY, États-Unis, p. 1 à 32.
- Jervejeva S., Moore J. C. et Grinsted A., 2010. How will sea level respond to changes in natural and anthropogenic forcings by 2100? *Geophysical Research Letters* 37. DOI: 10.1029/2010GL042947.
- Jervejeva, S., Moore, J. C. et Grinsted, A., 2012. Sea level projections to AD2500 with a new generation of climate change scenarios. *Global and Planetary Change*, 80-81, p. 14 à 20. (doi:10.1016/j.gloplacha.2011.09.006).
- Karl, T. R., Arguez, A., Huang, B., Lawrimore, J. H., McMahon, J. R., Menne, M. J., Peterson, T. C., Vose, R. S. et Zhang, H., 2015. Possible artifacts of data biases in the recent global surface warming hiatus, *Science*, 348, p. 1469 à 1472.

- Karl, T. R., Melillo, J. T. et Peterson, T. C., 2009. Global Climate Change Impacts in the United States. Cambridge University Press, 189 pages.
- Katsman, C. A., Sterl, A., Beersma, J. J., Brink, H. W., Church, J. A., Hazeleger, W., Kopp, R. E., Kroon, D., Kwadijk, J., Lammersen, R., Lowe, J., Oppenheimer, M., Plag, H. P., Ridley, J., Storch, H. *et al.*, 2011. Exploring high end scenarios for local sea level rise to develop flood protection strategies for a low-lying delta. The Netherlands as an example. *Climatic Change*, 109 (3-4), p. 617 à 645 (doi:10.1007/s10584-011-00375).
- King, D., Schrag, D., Dadi, Z., Ye, Q. et Ghosh, A. 2015. Climate Change: A Risk Assessment. Centre for Science and Policy, University of Cambridge. (<http://www.csap.cam.ac.uk/media/uploads/files/1/climate-change--a-risk-assessment-v9-spreads.pdf>)
- Kopp, R., Simons, F., Mitrovica, J., Maloof, A. et Oppenheimer, M., 2009. Probabilistic assessment of sea level during the last interglacial stage. *Nature* 462, p. 863 à 867. (doi:10.1038/nature08686).
- Lionello, P., Galati, M. B. et Elvini, E., 2012. Extreme storm surge and wind wave climate scenario simulations at the Venetian littoral. *Phys Chem Earth Parts A/B/C*, 40–41, p. 86 à 92.
- Losada, I. J., Reguero, B. J., Mendez, F. G., Castanedo, S., Abascal, A. J. et Minguez, R., 2013. Long-term changes in sea level components in Latin America and the Caribbean. *Global and Planetary Change*, 104, p. 34 à 50.
- Lowe, J. A., Howard, T., Jenkins, G., Ridley, J., Dye, S. et Bradley, S., 2009. UK Climate Projections science report: Marine and coastal projections. Met. Office Hadley Centre, Exeter, Royaume-Uni.
- Lyman, J. M. *et al.*, 2010. Robust warming of the global upper ocean, *Nature*, 465, p. 334 à 337.
- Marcos, M. et Tsimplis, M. N., 2008. Comparison of results of AOGCMs in the Mediterranean Sea during the 21st century. *Journal of Geophysical Research*, 113 (C12) (doi:10.1029/2008JC004820).
- Marcos, M., Jorda, G., Gomis, D. et Perez, B., 2011. Changes in storm surges in southern Europe from a regional model under climate change scenarios. *Global and Planetary Change*, 77 (3-4), p. 116 à 128 (doi:10.1016/j.gloplacha.2011.04.002).
- Mel, R., Sterl, A. et Lionello, P., 2013. High resolution climate projection of storm surge at the Venetian coast. *Nat Hazards Earth System Science*, 13, p. 1135 à 1142.
- Melillo, J. M., Richmond, T. T. C., Yohe, G. W., 2014. Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment. U.S. Global Change Research Program, NCA, p. 841.
- Menendez, M. et Woodworth, P. L., 2010. Changes in extreme high water levels based on a quasi-global tidegauge data set. *Journal of Geophysical Research*, 115, C10011 (doi:10.1029/2009JC005997).
- MetOffice, 2014. Climate risk An update on the science. Met Office, Handley Center, Devon, Royaume-Uni, 9 pages.
- Milly, P. C. D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R. M., Kundzewicz, Z. W., Lettenmaier D. P. et Stouffer, R. J., 2008. Stationarity is dead: Whither water management? *Science*, 319, p. 573 et 574.

- Mori N., Shimura T., Yasuda T. et Mase H., 2013. Multi-model climate projections of ocean surface variables under different climate scenarios – Future change of waves, sea level and wind. *Ocean Engineering*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.oceaneng.2013.02.016i>.
- Moss R. *et al.*, 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463, p. 747 à 756.
- Munich Re (2015) NatCatSERVICE: Loss events worldwide 1980–2014.
- NASA, 2016. NOAA Analyses Reveal Record-Shattering Global Warm Temperatures in 2015 [WWW] Goddard Institute for Space Studies. Accessible à l'adresse : <http://www.giss.nasa.gov/research/news/20160120/> [Consulté le 13/02/2016].
- NOAA, 2016a. Global Analysis - Annual 2015: 2015 year-to-date temperatures versus previous years [WWW] National Centers for Environmental Information. Accessible à l'adresse : <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/2015/13/supplemental/page-3> [Consulté le 12/02/2016].
- NOAA, 2016b. Global Analysis – novembre 2015 [WWW] National Centers for Environmental Information. Accessible à l'adresse : <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201511> [Consulté le 12/02/2016].
- NOAA, 2016c. Global Analysis – février 2016 [WWW] National Centers for Environmental Information. Consultable à l'adresse : <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201602> [Consulté le 12/02/2016].
- NOAA, 2016d. Global Analysis – février 2016 [WWW] National Centers for Environmental Information. Accessible à l'adresse : <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201602> [Consulté le 12/02/2016].
- NOAA, 2015. 2014 State of the Climate: Carbon Dioxide [WWW]. Accessible à l'adresse : <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/2014-state-climate-carbon-dioxide>.
- NSIDC, 2012. Rapid sea ice retreat in June [WWW] National Snow & Ice Data Center. Accessible à l'adresse : <http://nsidc.org/arcticseaicenews/2012/07/rapid-sea-ice-retreat-in-june/> [Consulté le 15/02/2016].
- Pérez, J., Menendez, M., Mendez, F. et Losada, I., 2014. Evaluating the performance of CMIP3 and CMIP5 global climate models over the north-east Atlantic region. *Clim Dyn.*, 43, p. 2663 à 2680.
- Pfeffer W., Harper J. and O' Neel S., 2008. Kinematic constraints on glacier contributions to 21st century sea levelrise. *Science* 321, p. 1340 à 1343 (doi:10.1126/science.1159099).
- Pritchard, H. D., Ligtenberg, S. R. M., Fricker, H. A., Vaughan, D. G., van den Broeke, M. R. et Padman, L., 2012. Antarctic ice-sheet loss driven by basal melting of ice shelves. *Nature*, 484, p. 502 à 505.
- Rahmstorf S., Cazenave A., Church J. A., Hansen J. E., Keeling R. F., Parker D. E., et R. C. J. Somerville, 2007. Recent climate observations compared to projections. *Science* 316, 709-709.
- Raper, S. C. B. et Braithwaite, R. J., 2009. Glacier volume response time and its links to climate and topography based on a conceptual model of glacier hypsometry. *The Cryosphere*, 3, p. 183 à 194 (ISSN 1994-0416).
- Richardson, K., Steffen, W., Schellnhuber, H. J., Alcamo, J., Barker, T., Kammen, D. M., Leemans, R., Liverman, D., Munasinghe, M., Osman-Elasha, B., Stern, N. et O Ole W.ver., 2009. Synthesis Report. Climate change: Global Risks, Challenges and Decisions. Université de Copenhague, 39 pages.



- Rignot, E., Velicogna, I., van den Broeke, M. R., Monagha, A. et Lenaerts, J., 2011. Acceleration of the contribution of the Greenland and Antarctic ice sheets to sea level rise. *Geophysical Research Letters*, (38), 5 pages (doi:10.1029/2011GL046583).
- Rohling E., Grant K., Hemleben C., Siddall M., Hoogakker B., Bolshaw M. et Kucera M., 2008. High rates of sea level rise during the last interglacial period. *Nature Geosciences* 1, p. 38 à 42 (doi:10.1038/ngeo.2007.28).
- Ruggiero, P., Komar, P. D. et Allan, J. C., 2010. Increasing wave heights and extreme value projections: The wave climate of the U.S. Pacific Northwest. *Coastal Engineering*, 57, p. 539 à 552.
- Ruggiero, P., 2013. Is the intensifying wave climate of the U.S. Pacific Northwest increasing flooding and erosion risk faster than sea-level rise? *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 139 (2), p. 88 à 97.
- Shakun, J. D., Clark, P. U., He, F., Marcott, S. A., Mix, A. C., Liu, Z., Otto-Bliesner, B., Schmittner, A. et Bard, E., 2012. Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation, *Nature*, 484, p. 49 à 55.
- Steffen, W. 2009. *Climate Change 2009: Faster Change and More Serious Risks*. Report to the Department of Climate Change, Gouvernement australien.
- Stockdon, H. F., Doran, K. J., Thompson, D. M., Sopkin, K. L., Plant, N. G. et Sallenger, A. H., 2012. National assessment of hurricane-induced coastal erosion hazards: Gulf of Mexico: U.S. Geological Survey Open-File Report 2012-1084, 51 pages.
- U.S. Climate Resilience Toolkit, 2015. Arctic Development and Transport. [WWW] Accessible à l'adresse : <https://toolkit.climate.gov/content/about-climate-resilience-toolkit> [Consulté le 15/01/2016].
- Velicogna, I., Sutterley, T. C. et van den Broeke, M. R., 2014. Regional acceleration in ice mass loss from Greenland and Antarctica using GRACE time-variable gravity data. *Geophys. Res. Lett.*, 41(22), p. 8130 à 8137.
- Vermeer M et Rahmstorf S 2009 Global sea level linked to global temperature. *Proceedings of the National Academy of Sciences, États-Unis*, 106, 21527–21532. (doi:10.1073/pnas.0907765106).
- Vousdoukas, M. I., Voukouvalas, E., Annunziato, A., Giardino, A. et Feyen, L., 2016. Projections of extreme storm surge levels along Europe. *Climate Dynamics*, 20 pages (sous presse) (doi: 10.1007/s00382-016-3019-5).
- Wada, Y., van Beek, L. P. H., Weiland, F. C. S., Chao, B. F., Wu, Y.-H. et Bierkens, M. F. P., 2012. Past and future contribution of global groundwater depletion to sea-level rise. *Geophys Res Lett.*, 39, L09402 (doi: 10.1029/2012GL051230).
- Vellinga P *et al.*, 2008. Exploring high-end climate change scenarios for flood protection of the Netherlands. International Scientific Assessment for the Delta Committee. SR WR-2009-05. KNMI, Alterra, Pays-Bas. <http://www.knmi.nl/bibliotheek/knmipubWR/WR2009-05.pdf>.
- OMM, 2014. Déclaration de l'OMM sur l'état du climat mondial en 2014, Organisation météorologique mondiale, OMM-No. 1152, Président du Comité des publications, Genève, Suisse, 20 pages (ISBN : 978-92-63-11152-4).
- OMM, 2016. Déclaration de l'OMM sur l'état du climat mondial en 2015, Organisation météorologique mondiale, OMM. 1167, Président du Comité des publications, Genève, Suisse 26 pages (ISBN : 978-92-63-11167-8.). Voir aussi <http://www.indiaenvironmentportal.org.in/content/421694/provisional-statement-on-the-status-of-global-climate-in-2011-2015/>.