

Limiter l'augmentation des températures bien en dessous de 2°C : est-ce un objectif atteignable ?

Joel Guiot

► **To cite this version:**

Joel Guiot. Limiter l'augmentation des températures bien en dessous de 2°C : est-ce un objectif atteignable ?. Revue Juridique de l'Environnement, Société française pour le droit de l'environnement - SFDE, 2017, Après l'accord de Paris, quels droits face au changement climatique ?, pp.23-32. insu-02269694

HAL Id: insu-02269694

<https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/insu-02269694>

Submitted on 23 Aug 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LIMITER L'AUGMENTATION DES TEMPÉRATURES BIEN EN DESSOUS DE 2°C : EST-CE UN OBJECTIF ATTEIGNABLE ?

Joël GUIOT

Aix Marseille Univ, CNRS, IRD, Collège de France, CEREGE, Aix-en-Provence, France

RESUME

Après un rapide tour d'horizon de l'apport du GIEC à la problématique du changement climatique, cet article présente les contraintes liées à la volonté des négociateurs de l'Accord de Paris de limiter le réchauffement planétaire à moins de 2°C et même 1,5°C. Partant du constat que le réchauffement actuel a déjà atteint le seuil de +1°C, on présente les forçages importants de ce réchauffement et on replace la problématique dans un contexte paléoclimatique. Les différents scénarios pour le futur sont esquissés en insistant sur le fait que la différence entre les scénarios +1,5 et +2°C est importante pour les écosystèmes et pour les humains. S'il ne reste plus qu'un petit 0.5°C avant d'atteindre le premier seuil, des solutions d'atténuation du réchauffement doivent être mises en place rapidement quel que soit l'objectif. Il reste malgré tout vraisemblable que le seuil de 1,5°C sera dépassé au milieu de 21^e siècle mais qu'il est encore possible de revenir en dessous à la fin du siècle, à condition d'accompagner les mesures drastiques de diminution des énergies fossiles par des mesures d'absorption du carbone déjà présent dans l'atmosphère.

ABSTRACT

After a short overview of the IPCC's contribution to the issue of climate change, this article presents the constraints linked to the willingness of the negotiators of the Paris Agreement to limit global warming to less than 2°C and even 1.5°C. Based on the fact that the current warming has already reached the threshold of 1°C, we present the important drivers of this warming and we put the problematic in a paleoclimatic context. The different scenarios for the future are outlined, emphasizing that the difference between scenarios 1.5 and 2°C is important for ecosystems and for humans. If only a small 0.5°C is left before reaching the first threshold, mitigation solutions must be implemented quickly for any purpose. Nevertheless, it is likely that the threshold of 1.5°C will be exceeded in the middle of the 21st century but that it is still possible to return below it before the end of the century, provided that, in parallel to drastic measures of decreasing fossil fuels, solutions of removal of carbon already present in the atmosphere were taken.

MOTS CLES FRANÇAIS

Changement climatique ; GIEC ; atténuation ; projections

MOTS CLES ANGLAIS

Climate change ; IPCC ; mitigation ; projections

INTRODUCTION

Le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) a été créé en 1988 par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE). Cette création est en soi une grande innovation car elle va permettre, pour la première fois à cette échelle, aux scientifiques et aux représentants politiques des pays du monde entier de travailler ensemble. Les scientifiques produisent un diagnostic clair et rigoureux sur l'état de la planète face au changement climatique. Le rapport, très volumineux, qui en sort est soumis à la critique des pairs et le résumé pour les décideurs (« summary for policymakers ») est discuté ligne par ligne par les représentants politiques. La base scientifique de ces rapports reflète l'état des connaissances au moment où ils sont publiés et on est assuré que le résumé servira effectivement de base de travail pour les décideurs qui négocieront les traités internationaux. Le premier rapport (IPCC-WGI, 1990) expliquait déjà que le réchauffement planétaire serait de 1 à 5°C et l'augmentation du niveau des mers de 30 à 100 cm à la fin du 21^e siècle selon le scénario de développement socio-économique choisi (soit une forte réduction des émissions des gaz à effet de serre, soit la prolongation des tendances d'émission actuelles).

C'est assez remarquable de constater que les rapports suivants n'ont pas changé ces fourchettes de prévision. Par contre, le premier rapport estimait qu'il fallait attendre 10 ans pour attribuer avec une grande confiance le changement aux activités humaines. Le deuxième rapport en 1995 (IPCC, 1995) affirme déjà avec plus de confiance que l'influence de l'homme est perceptible. C'est à la suite de ce rapport que le protocole de Kyoto a été préparé. Le troisième rapport (IPCC, 2001) y va encore plus fort en affirmant que l'essentiel du réchauffement observé est dû à l'homme avec une probabilité de l'ordre de 90%. C'est à partir de ce troisième rapport que le GIEC admet l'idée que le réchauffement ne pourra pas s'arrêter immédiatement même s'il y a une réduction substantielle des émissions. Il commence à parler de nécessaire adaptation. Le 4^e rapport (IPCC, 2007) parle d'évidence sans équivoque que le réchauffement depuis 40 ans est dû à l'homme.

Le 5^e rapport (IPCC, 2014) a délivré plusieurs messages forts. L'influence humaine sur le système climatique est claire et les récentes émissions de gaz à effet de serre sont les plus élevées de l'histoire et même des derniers 800 000 ans ; ils ont causé (probabilité de 99%) des changements climatiques qui ont des impacts étendus sur les systèmes naturels et humains. L'émission persistante des gaz à effet de serre causera un réchauffement et des changements à long terme dans toutes les composantes du système climatique, accroissant ainsi la vraisemblance d'impacts sévères généralisés et irréversibles pour les humains et les écosystèmes. Limiter le changement climatique implique des réductions substantielles et soutenues des émissions, qui, avec l'adaptation, peut limiter les risques. Ces risques sont inégalement distribués en défaveur des pauvres et des pays en développement. Beaucoup d'impacts continueront à se faire sentir pendant des siècles même si on arrête totalement les émissions.

Ce 5^e rapport a servi de base aux négociations de la COP21 organisée à Paris en décembre 2015. L'Accord de Paris spécifie la nécessité de « contenir l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et de poursuivre l'action menée pour limiter l'élévation des températures à 1,5 °C » et « invite le GIEC à présenter un rapport spécial en 2018 sur les conséquences d'un réchauffement planétaire supérieur à 1,5°C par rapport aux niveaux préindustriels et les profils connexes d'évolution des émissions mondiales de gaz à effet de serre » (article 21). Ce rapport est en cours de rédaction et de nombreux articles scientifiques sont publiés ou en cours de publication pour l'alimenter.

LE RECHAUFFEMENT PLANETAIRE ET SES CAUSES

La courbe du réchauffement planétaire montre clairement un premier réchauffement entre 1920 et 1944 (Figure 1). Il s'en est suivi une stagnation ou même un léger refroidissement jusqu'au milieu des années 70. Le second réchauffement peut se représenter par une droite de pente 0.018°C/an entre 1971 et 2016 (en vert). Certains ont parlé d'une pause dans le réchauffement planétaire entre 1998 et 2013, mais si la température atmosphérique a paru augmenter moins qu'à la fin du 20^{ième} siècle qu'au début du 21^{ième} siècle, ce n'était pas le cas de la température de l'océan ni de la montée du niveau des océans qui dépend fortement de la chaleur accumulée dans les couches supérieures de ces derniers (Levitus et al., 2012). Avec l'arrivée d'un événement « El Nino » exceptionnel entre 2014 et 2016, une partie de cette chaleur a été relâchée dans l'atmosphère et le « retard » pris par l'atmosphère a été comblé en deux ans. C'est ainsi que 2016 a été l'année la plus chaude depuis 1880, avec un écart de près de 1.3°C par rapport à la période 1880-1920 (Figure 1) et les dix années les plus chaudes ont toutes été enregistrées au 21^{ième} siècle. La tendance linéaire depuis 1970 (en vert dans la figure 1) montre que le réchauffement planétaire a atteint le seuil de 1°C et sera de 1.1°C en 2020.

Température annuelle planétaire (NASA)

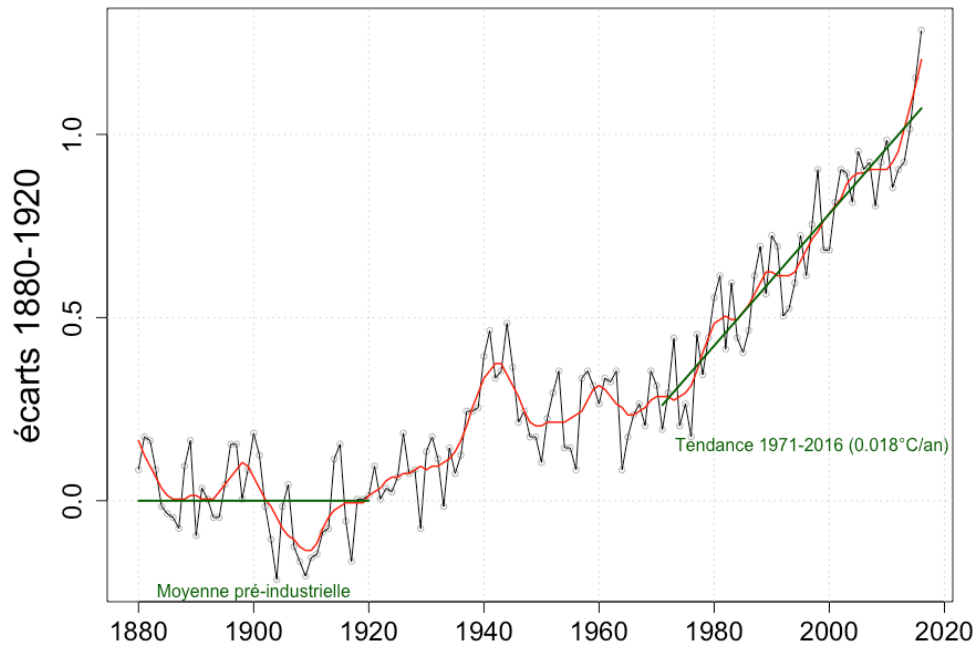


Figure 1. Evolution de la température moyenne planétaire annuelle calculée par le centre GISS de la NASA. Il s'agit de la moyenne océans+continents. La courbe rouge est un lissage sur une fenêtre de 5 ans. <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/>

On sait depuis longtemps que l'atmosphère exerce ce qu'on appelle un effet de serre bénéfique pour la vie sur terre. La température planétaire serait de -18°C au lieu des 15°C actuels si cet effet de serre n'existait pas. Le réchauffement récent de la terre vient de l'accroissement de cet effet de serre depuis le début de l'ère industrielle dû à la modification de la composition de l'atmosphère. Ainsi les mesures faites à l'observatoire de Mauna Loa montrent que la concentration atmosphérique du CO_2 est passée de 320 ppmv (parties par millions en volume) en 1958 à plus de 400 ppmv actuellement. Les carottes de glace qui piègent des bulles d'air au fur et à mesure de la formation de la glace indiquent qu'avant l'utilisation des énergies fossiles par l'homme, la concentration était de l'ordre de 280 ppmv, soit une augmentation actuelle de plus de 40%. Il en est de même pour les autres gaz à effet de serre. Le méthane est passé de 650 ppbv (partie par billion en volume) à près de 1800 ppbv depuis l'ère pré-industrielle. Le protoxyde d'azote est passé de 270 à près de 325 ppmv sur la même période. L'origine du CO_2 anthropogénique est essentiellement le charbon, le pétrole, le gaz, la production de ciment et les changements d'utilisation des terres (essentiellement la déforestation). Les sources de méthane et du protoxyde d'azote anthropogéniques sont l'agriculture, les feux de biomasse, et les carburants fossiles.

Il faut noter que la vapeur d'eau est également un gaz à effet de serre. Elle est de loin la plus abondante, mais sa durée de vie dans l'air est de quelques jours et si elle a tendance à augmenter c'est essentiellement une conséquence du réchauffement, donc indirectement des autres gaz à effet de serre. Si le pergélisol, qui est un sol gelé en permanence qu'on trouve essentiellement dans les hautes latitudes de l'Arctique, est de formation naturelle, le réchauffement va provoquer sa fonte (qui peut prendre des siècles) et des émissions significatives de CO_2 et de méthane. Il en est de même des hydrates de méthane dans les sédiments océaniques.

LE RECHAUFFEMENT DU CLIMAT DANS UN CONTEXTE PALEOCLIMATIQUE

Une question qui est souvent posée aux climatologues est la suivante : la terre a toujours connu des phases chaudes et des phases froides, en quoi la phase chaude qui se prépare est-elle différente de celles du passé ? Effectivement on compare souvent la période actuelle à la période Médiévale réputée également chaude (approximativement de 800 à 1400 de notre ère). D'autres périodes chaudes ont été reconstruites par les paléoclimatologues lors de la Période Romaine (0 à 300), le milieu de l'Holocène (autour de 6000 ans BP) ou le dernier interglaciaire (129 000 à 116 000 ans BP) (Masson-Delmotte et al., 2013). On peut pointer d'emblée une première différence entre ces périodes anciennes et l'actuelle, c'est l'homogénéité du réchauffement. C'est la première fois que le réchauffement est généralisé. Par exemple, le milieu de l'Holocène était plus froid que maintenant en Europe du Sud (Bartlein et al., 2011; Davis et al., 2003). Le dernier Interglaciaire était sans doute plus chaud qu'actuellement avec une amplification polaire également forte mais avec un fort contraste océan continent (Masson-Delmotte et al., 2013), ce qu'on ne retrouve pas actuellement. Une seconde différence est la rapidité du réchauffement. Durant la transition glaciaire-interglaciaire qui a démarré il y a 18 000 ans, le réchauffement moyen a été de 5°C en plusieurs milliers d'années. Les modèles climatiques prédisent un réchauffement équivalent (dans le cas du scénario le plus émetteur) d'ici 2100, ce qui fait une vitesse de 20 à 30 fois plus élevée. Si nos écosystèmes ont pu s'adapter aux réchauffements précédents, ils auront beaucoup plus de mal dans le futur. Ainsi il a été montré (Guiot and Cramer, 2016) que les changements dans les écosystèmes terrestres méditerranéens seront plus importants que jamais depuis 10 000 ans si le réchauffement planétaire atteint ou dépasse 2°C.

LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES FUTURS

L'évolution des climats dépend des émissions de gaz à effet de serre que l'on va continuer à émettre. Les climatologues ont défini quatre catégories de scénarios, appelés « Representative Concentration Pathways » (RCP). Le scénario le plus émetteur est appelé RCP8.5, il prévoit le plus fort réchauffement (de l'ordre de 5°C). C'est celui qui prévaudra si on continue les émissions comme actuellement (« business as usual »). C'est lui qui nous occasionnera des bouleversements de l'ordre de grandeur d'un passage glaciaire-interglaciaire. Le scénario le moins émetteur est appelé RCP2.6. Pour s'y conformer, il faut des réductions drastiques de nos émissions. Il correspond plus ou moins aux accords de Paris (entre +1.5 et +2°C en 2100 par rapport à la période pré-industrielle). Il y a deux scénarios intermédiaires, RCP6 et RCP4.5. Il semblerait que la somme des contributions nationales volontaires mises sur la table des négociations en décembre 2015 à Paris conduirait à une situation entre ces deux scénarios, avec un réchauffement de l'ordre de +3°C en 2100.

La figure 2 présente les projections effectuées par les modèles climatiques pour ces quatre scénarios. On s'aperçoit que ces scénarios ne diffèrent pas beaucoup jusqu'approximativement 2030. Dans la seconde moitié du siècle des différences irréversibles commencent à se faire sentir. Ceci veut dire que les mesures prises actuellement pour combattre le réchauffement n'auront d'effets visibles que dans au moins 15 ans, mais ces mesures doivent néanmoins être prises au plus vite dans la perspective du long terme. Il est intéressant de regarder le scénario RCP2.6 d'un peu plus près. Il prévoit une augmentation de température entre 0.2 et 1.7°C par rapport à la période 1986-2005, ce qui fait 0.8 à 2.3°C par rapport à la période préindustrielle. On peut donc considérer que la moitié inférieure de l'intervalle de confiance du réchauffement représente le +1.5°C des accords de Paris et la moitié supérieure le +2°C. En termes de montée du niveau des mers, cela fait 30-45 cm versus 45-60 cm, donc une différence très significative. On comprend que les habitants des îles qui risquent la disparition ont tout fait pour faire inscrire le +1.5°C dans le protocole.

Un point important qui n'apparaît pas dans ces figures « globales » est la disparité locale et la disparité intra-annuelle. Il a été montré (Seneviratne et al., 2016) qu'un réchauffement global de 2°C correspondait à une température maximale moyenne (celle qu'on atteint en début d'après-midi) de plus de +3°C en région Méditerranéenne, aux USA et au Brésil, mais de +6°C dans les régions arctiques. Il en va de même pour les fortes précipitations dans les régions de mousson. Il y a donc amplification du signal dans certaines régions et à certains moments de l'année. Cette « petite différence » de 0.5°C entre les deux seuils conduira vraisemblablement à des problèmes locaux plus importants qu'il n'y paraît. Cela nous conduit au rapport demandé au GIEC lors de la COP21, dont l'objectif est d'étudier soigneusement à différentes échelles spatiales le gain qu'il y aurait à éviter ce petit accroissement de 0.5°C.

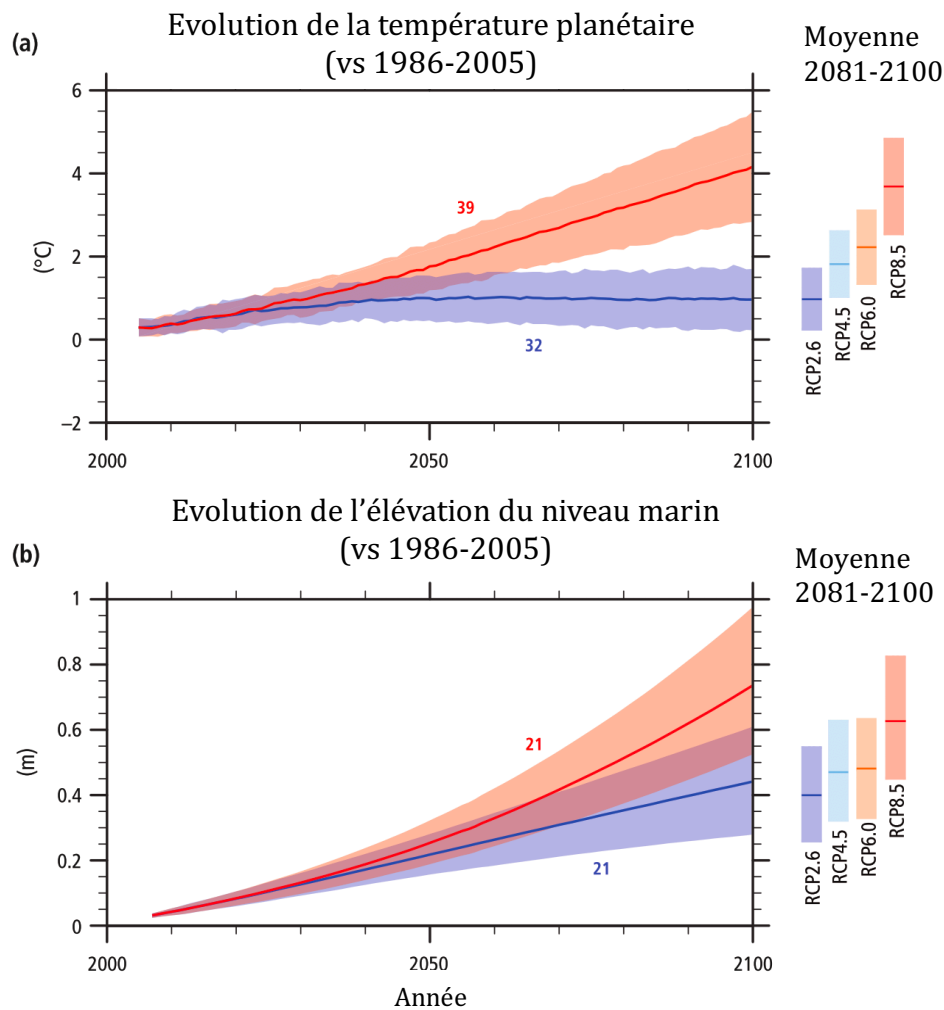


Figure 2. Evolution de la température moyenne planétaire et du niveau des mers pour les deux scénarios extrêmes (RCP2.6 en mauve et RCP8.5 en rouge) avec à droite les gammes de températures attendues pour la période 2081-2100 pour les quatre scénarios. Les changements sont exprimés en fonction de la période 1986-2005 (il faut donc ajouter 0.6°C aux températures pour avoir les changements en fonction de la période pré-industrielle). Figure tirée de (IPCC, 2014)

LES ACCORDS DE PARIS : POSSIBLE OU PAS ?

Puisqu'on a déjà atteint un réchauffement de 1°C, et qu'on n'est donc pas loin de la limite des 1.5°C, n'est-il pas trop tard ? En fait si on regarde la courbe du RCP2.6, on voit qu'elle atteint un maximum vers 2050 puis qu'elle descend lentement après. Beaucoup de modèles climatiques prévoient en fait ce qu'on appelle un « overshooting », c'est-à-dire un dépassement temporaire. Donc un des scénarios envisagés pour ces accords de Paris est d'atteindre une valeur comprise entre 1.5 et 2°C en 2050 puis redescendre à 1.5°C en 2100. Le problème est que cela ne se passe pas comme cela avec le niveau marin. La glace fondue à cause de cet « overshooting » ne se reformera pas à la fin du siècle. Il en est de même pour la biodiversité perdue. Il y a irréversibilité. Il faudrait maintenir l' « overshooting » au plus près possible de 1.5°C et le plus court possible. Il est d'ores et déjà clair que la diminution des émissions seules ne sera pas assez rapide pour remplir ces conditions.

Se maintenir au niveau inférieur du RCP2.6 implique ce que les scientifiques du GIEC appellent des émissions négatives, c'est à dire le retrait des gaz à effet de serre qui sont déjà présents dans l'atmosphère. Ces émissions négatives peuvent être le fruit d'actions naturelles ou le fruit d'une ingénierie plus ou moins risquée. La végétation emprisonne du CO₂ par le processus de photosynthèse.

Reboiser est donc une solution alléchante et cela d'autant plus que le bois produit est utilisé à la place d'énergie fossile (mais à la condition de gérer intelligemment ces forêts). Les sols sont un autre compartiment intéressant. Ils ont tendance à se dégrader par l'action de l'homme, en particulier par l'urbanisation mais également l'agriculture intensive. Il a été proposé lors de la COP21 le programme « 4 pour mille » qui consiste à mettre en œuvre des techniques visant à augmenter la proportion de carbone dans le sol de 4‰ par an. C'est basé sur une étude relativement ancienne (Balesdent and Arrouays, 1999) qui affirme qu'une augmentation du réservoir de carbone des sols de 4‰ par an suffirait à contrebalancer la combustion du carbone fossile. D'autre part cela permettrait de d'améliorer la qualité des sols et via une large pratique de méthodes agro-écologiques, d'améliorer la qualité de notre alimentation. Il s'agit là d'une mesure « gagnant-gagnant » dont les effets bénéfiques sur l'alimentation seraient plus rapidement perçus que ceux sur le climat. Au niveau des méthodes d'ingénierie, on peut citer la gestion du rayonnement solaire qui vise à intercepter l'énergie du soleil par injection stratosphérique d'aérosols, action sur les nuages, en plaçant des miroirs spatiaux, en modifiant l'albédo au sol, etc... Ces technologies sont certainement encore risquées et posent des problèmes éthiques (Hansen et al., 2016b). Ces mesures ne peuvent néanmoins pas être mises en place sans un programme vigoureux d'économie d'énergie et de remplacement des énergies fossiles par des énergies renouvelables.

Les non-linéarités du système climatique ont pour conséquence qu'il peut apparaître ce qu'on appelle des surprises climatiques. On a parlé de l'overshooting et de ses conséquences irréversibles encore mal connues. Même s'il n'y a pas ou peu d'overshooting, il y aura vraisemblablement des irréversibilités au niveau des glaciers, du pergélisol, du méthane sous-marin et de la biodiversité. A cela il convient d'ajouter le risque de bifurcations (« tipping points »), c'est-à-dire des seuils au delà desquels les impacts s'accroissent non linéairement. On pense à la déstabilisation de la calotte de glace de la péninsule Antarctique occidentale qui pourrait élever brutalement le niveau des mers de quelques mètres en 50-150 ans (Hansen et al., 2016a). Il y a le ralentissement du Gulfstream qui pourrait avoir un effet de refroidissement de l'Europe comme cela s'est produit il y a plus de 8000 ans, mais cela reste encore très hypothétique (Collins et al., 2013).

CONCLUSIONS

Le réchauffement climatique dû à l'homme est maintenant un fait admis dans toute la communauté des climatologues. Les Accords de Paris, même s'ils ne sont pas contraignants, expriment cette évidence et montrent la volonté des gouvernements mondiaux de réagir. La question qui se pose est : plutôt que de concentrer tous ses efforts sur l'objectif inatteignable du 1.5°C, ne vaut-il pas mieux viser d'emblée le +2°C ? Nous n'avons effectivement plus qu'une marge de 0.5°C avant le 1.5°C. Et comme les accords de Paris ne seront mis en place qu'à partir de 2020, cette marge de 0.5°C va encore se réduire.

En réalité, aussi bien les données du passé que les projections du futur nous disent que le « petit demi degré » qui sépare les deux seuils ont une grande importance pour les écosystèmes, les ressources et la viabilité du littoral. C'est ce que le rapport spécial du GIEC sur le réchauffement d'1.5°C a pour tâche d'évaluer. Cela vaut la peine de viser l'objectif le plus bas, mais cela ne pourra se faire sans doute qu'en passant par un dépassement de quelques dixièmes de degrés vers 2050. Il faut que ce dépassement soit le plus faible et le plus court possible, car certaines conséquences de ce dépassement peuvent être irréversibles (fonte des glaciers, morts par la famine ou la canicule, perte de biodiversité, etc...). Il semble difficile d'exclure la mise en place de procédés d'absorption du carbone déjà émis en plus de la diminution drastique des émissions actuelles (énergies renouvelables, économies d'énergie). Certaines approches d'atténuation du réchauffement climatique sont intéressantes car elles apportent une valeur ajoutée assez rapide. Il s'agit de l'amélioration de la qualité des sols par l'enfouissement de carbone ou l'afforestation de zone inutilisées. D'autres approches sont plus risquées, comme l'enfouissement du carbone dans les couches géologiques ou la captation du rayonnement solaire en altitude.

BIBLIOGRAPHIE

Balesdent, J., and Arrouays, D. (1999). Usage des terres et stockage de carbone dans les sols du territoire français. Une estimation des flux nets annuels pour la période 1990-1999. An estimate

of the net annual carbon storage in French soils induced by land use change from 1900 to 1999 (note p. *Comptes Rendus-Academie d'Agriculture Fr.* 85, 265–277.

- Bartlein, P. J., Harrison, S. P., Brewer, S., Connor, S., Davis, B. A. S., Gajewski, K., et al. (2011). Pollen-based continental climate reconstructions at 6 and 21 ka: A global synthesis. *Clim. Dyn.* 37, 775–802. doi:10.1007/s00382-010-0904-1.
- Collins, M., Knutti, R., Arblaster, J., Dufresne, J.-L., Fichefet, T., Friedlingstein, P., et al. (2013). Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. *Clim. Chang. 2013 Phys. Sci. Basis. Contrib. Work. Gr. I to Fifth Assess. Rep. Intergov. Panel Clim. Chang.*, 1029–1136. doi:10.1017/CBO9781107415324.024.
- Davis, B. A. S., Brewer, S., Stevenson, A. C. C., Guiot, J., Allen, J., Almquist-Jacobson, H., et al. (2003). The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data. *Quat. Sci. Rev.* 22, 1701–1716. doi:10.1016/S0277-3791(03)00173-2.
- Guiot, J., and Cramer, W. (2016). Climate change: The 2015 Paris Agreement thresholds and Mediterranean basin ecosystems. *Science (80-.)*. 354, 4528–4532. doi:10.1126/science.aah5015.
- Hansen, J., Sato, M., Hearty, P., Ruedy, R., Kelley, M., Masson-Delmotte, V., et al. (2016a). 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, 3761–3812. doi:10.5194/acp-16-3761-2016.
- Hansen, J., Sato, M., Kharecha, P., von Schuckmann, K., Beerling, D. J., Cao, J., et al. (2016b). Young People’s Burden: Requirement of Negative CO₂ Emissions. *Earth Syst. Dyn. Discuss.*, 1–40. doi:10.5194/esd-2016-42.
- IPCC (1995). *Seconde évaluation du GIEC : Changement de climat 1995*. IPCC, Geneva, Switzerland.
- IPCC (2001). *Climate Change 2001: Synthesis Report. Summary for Policymakers*. IPCC, Geneva, Switzerland.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007 Synthesis Report*. doi:10.1256/004316502320517344.
- IPCC (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. doi:10.1017/CBO9781107415324.004.
- IPCC-WGI (1990). *Policymakers Summary*. IPCC, Geneva, Switzerland.
- Levitus, S., Antonov, J. I., Boyer, T. P., Baranova, O. K., Garcia, H. E., Locarnini, R. A., et al. (2012). World ocean heat content and thermosteric sea level change (0-2000m), 1955-2010. *Geophys. Res. Lett.* 39, 1–5. doi:10.1029/2012GL051106.
- Masson-Delmotte, V., Schulz, M., Abe-Ouchi, A., Beer, J., Ganopolski, A., González Rouco, J. F., et al. (2013). Information from Paleoclimate Archives. *Clim. Chang. 2013 Phys. Sci. Basis. Contrib. Work. Gr. I to Fifth Assess. Rep. Intergov. Panel Clim. Chang.*, 383–464. doi:10.1017/CBO9781107415324.
- Seneviratne, S. I., Donat, M. G., Pitman, A. J., Knutti, R., and Wilby, R. L. (2016). Allowable CO₂ emissions based on regional and impact-related climate targets. *Nature* 529, 477–83. doi:10.1038/nature16542.