

De la nécessité d'une vision géologique du changement climatique¹

Edouard Bard².

La surface terrestre se réchauffe et le niveau moyen des mers augmente depuis un siècle (panneaux de gauche des figures 1 et 2). Ces évolutions devraient se poursuivre en raison de l'augmentation des teneurs atmosphériques en gaz à effet de serre liée aux activités humaines. Cette tendance lente à l'échelle d'une vie, fait que notre perception du changement climatique est plutôt marquée par la variabilité aux échelles interannuelles à décennales, régionales ou mondiales, dont l'origine est essentiellement naturelle. Par ailleurs, les différentes perturbations du système climatique conduisent à une variation transitoire qui évolue vers un nouvel état d'équilibre dynamique. Certaines composantes du système, comme l'océan ou les calottes de glace, présentent une grande inertie et ralentissent le retour à une nouvelle stabilité climatique, mais tendent vers des états d'équilibre très différents de ce que nous connaissons aujourd'hui.

La modélisation du climat : objectifs, difficultés et résultats

Il est quasiment impossible pour les humains de ressentir vraiment le changement climatique en cours et de percevoir ses conséquences sur l'environnement et les écosystèmes. C'est pourquoi la **modélisation numérique** qui permet de se projeter dans un avenir virtuel, est particulièrement utile pour appréhender ce phénomène (panneaux de droite des figures 1 et 2). De la même façon, il est aussi crucial de se tourner vers la réalité du passé lointain (Fig. 3) pour observer des changements de l'équilibre climatique correspondant à des perturbations naturelles du bilan radiatif terrestre, d'ampleur similaire à celle causée par nos activités industrielles.

Cette archéologie du climat, ou **paléoclimatologie**, permet de documenter assez précisément les impacts du changement climatique sur le niveau marin, sur la disparition totale ou partielle de calottes de glace, sur des modi-

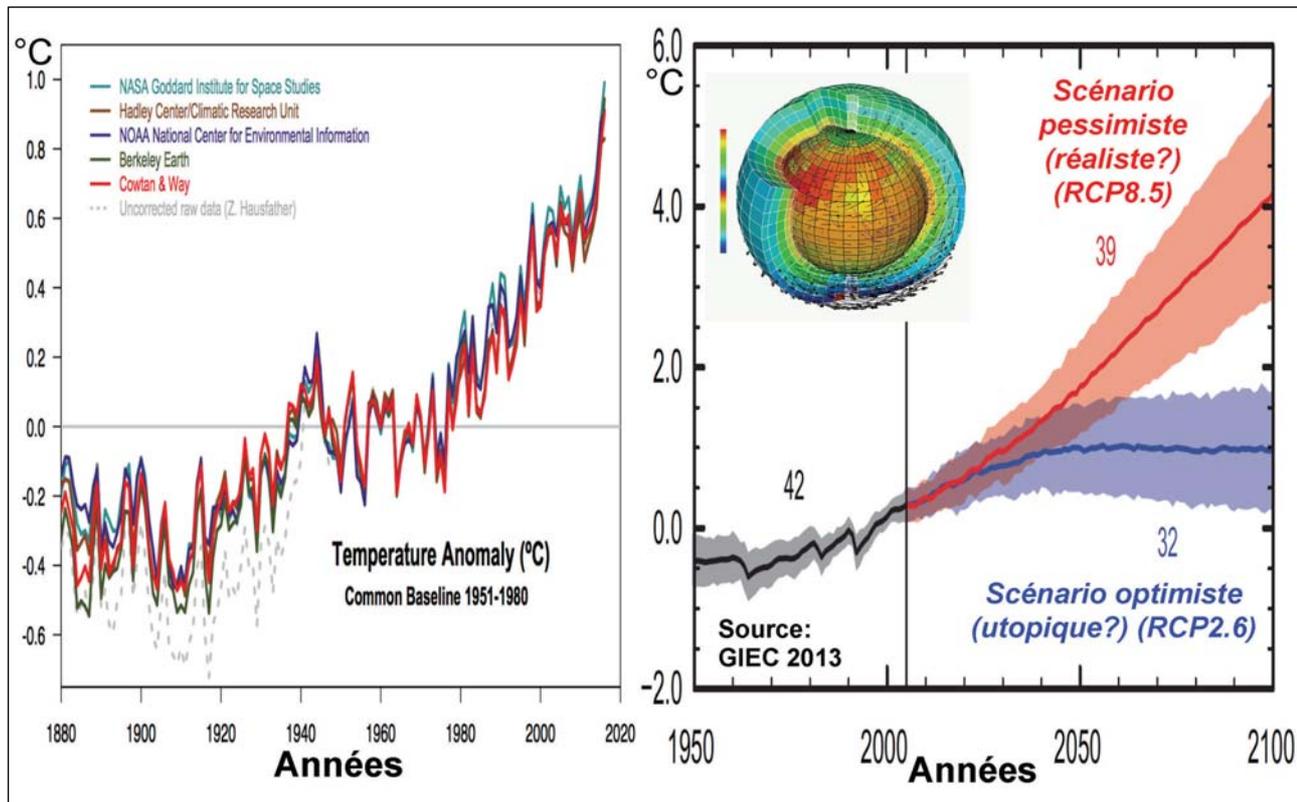


Figure 1. Évolutions passées et futures de la température moyenne à l'échelle du globe (source : GIEC, 2013 Report).

1. Reprise de l'article publié en décembre 2015 dans le numéro 105 du bulletin « Ingénieurs Géologues ».
 2. Professeur au Collège de France, titulaire de la chaire de l'évolution du climat et de l'océan, membre de l'Académie des Sciences, de l'Academia Europaea et de la National Academy of Sciences des USA ; courriel : bard@cerege.fr

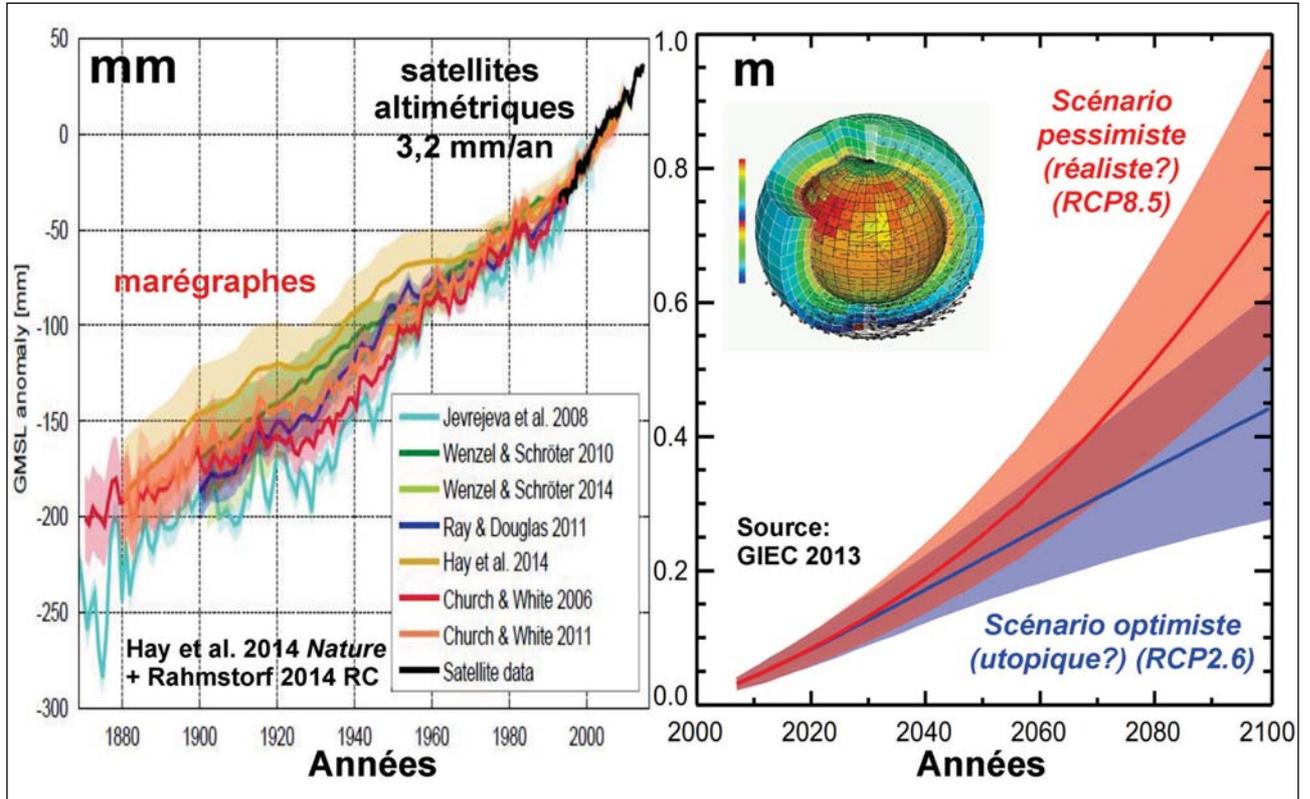


Figure 2. Évolutions passées et futures du niveau marin moyen à l'échelle du globe (source : Hay et al., 2014).

fications drastiques du cycle de l'eau sur les continents avec l'apparition ou la disparition de lacs et de fleuves, et sur des variations massives de la séquestration du carbone dans l'océan et la biosphère continentale.

L'année 2100 nous semble encore très éloignée avec ses perspectives de réchauffement de 3 à 5°C et près d'un mètre d'élévation du niveau marin, si nous ne faisons rien pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (voir panneaux de droite des figures 1 et 2). Pourtant, ce que nous voyons à des horizons plus lointains nous montre que des changements majeurs et quasiment irréversibles sont aussi prévisibles à l'échelle de quelques siècles à plusieurs millénaires. *Il est par exemple stupéfiant d'imaginer un monde sans calotte glaciaire au Groenland et ayant perdu les 3/4 de celle de l'Antarctique* (voir figure 3, partie droite), ce qui serait clairement possible si les émissions de CO₂ vers l'atmosphère continuaient de croître.

Savoir si nous devons nous soucier de ces perturbations à très long terme est un *choix éthique difficile*. Mais étudier ces évolutions nous donne les moyens de comprendre les mécanismes et de prendre la pleine mesure de l'empreinte humaine sur l'équilibre environnemental de la Terre.

Le réchauffement climatique causé par l'injection

de gaz carbonique d'origine anthropique constitue donc l'un des risques majeurs auxquels l'humanité devra faire face dans les prochaines décennies. Ce problème, qui nous concerne tous et dont nous portons une part variable de responsabilité au travers de notre consommation individuelle et collective en énergies fossiles, est sans précédent dans son aspect complexe et difficile à prévoir. Cette difficulté de la prévision climatique est liée non seulement *à la complexité du climat, mais aussi aux incertitudes sur les émissions futures en gaz carbonique* par les

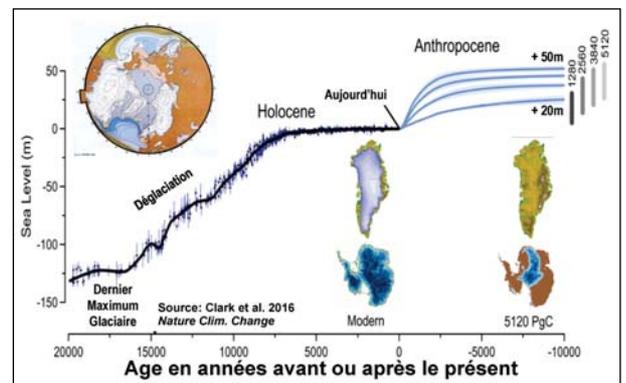


Figure 3. L'impact de l'Homme sur le climat et le niveau marin après 2100. Source : Clark et al., 2016.

nombreuses activités humaines disséminées à l'échelle de la planète (panneaux de droite des figures 1 et 2).

Nos sociétés font déjà face à d'autres risques, notamment à des problèmes affectant l'environnement ou la santé humaine (aérosols atmosphériques, détérioration de la couche d'ozone, pluies acides, pollutions chimiques, radioactivité, perturbateurs endocriniens, manipulations génétiques, amiante, ondes électromagnétiques, nanoparticules...). Ces différents risques posent ou ont posé des problèmes scientifiques et techniques engendrant également des problèmes éthiques. Néanmoins, aucun d'entre eux ne présente le niveau de complexité du changement climatique.

La modélisation du climat : l'indispensable interdisciplinarité

Prévoir l'évolution du climat oblige à **considérer le système climatique à la fois dans sa globalité et dans ses menus détails**. Il est nécessaire d'appréhender cette complexité à toutes altitudes, depuis la stratosphère jusqu'à l'océan profond, et à toutes latitudes, depuis les calottes de glace polaires jusqu'aux tourbières tropicales. L'échelle des processus physicochimiques varie depuis d'invisibles noyaux de condensation jusqu'aux cellules de convection de Hadley³ mettant en mouvement une grande partie de la masse atmosphérique. Cette diversité spatiale s'accompagne d'une extrême diversité dans les échelles de temps : des éruptions volcaniques durant quelques jours doivent être prises en compte au même titre que de lentes variations de la géométrie de l'orbite terrestre, qui s'étalent sur des millions d'années.

En conséquence, il est impossible à une seule personne de conduire des recherches pointues et de s'exprimer avec compétence sur tous les sujets, que ce soit à destination d'autres scientifiques, de décideurs, de journalistes ou du grand public. Cette diversité dans l'espace, dans le temps et dans la nature même des processus rend **nécessaire la communication et la collaboration entre scientifiques venant d'horizons très variés**, depuis la biologie moléculaire jusqu'à l'astrophysique, ... en passant évidemment par la géologie !

Une telle synergie des connaissances est indispensable et fructueuse. Le risque de dérive vers une dilution des compétences aboutissant à un consensus inutile est évité grâce aux débats ouverts entre chercheurs et aux mécanismes qui régissent l'expertise scientifique. La communauté qui s'occupe de climatologie fonctionne avec la même rigueur et les mêmes critères que les autres domaines scientifiques, comme la physique, la chimie ou

la biologie : publication détaillée des résultats, évaluation des travaux par les pairs, reproduction des mesures et des calculs par des groupes totalement indépendants (et même rivaux), débats lors de colloques internationaux ouverts à tous les scientifiques, qui peuvent alors exposer leurs accords et désaccords.

Les climatologues ont néanmoins été les premiers à s'organiser au niveau international dans le cadre des Nations Unies, avec pour objectif d'évaluer les informations scientifiques disponibles et de fournir aux gouvernants et décideurs des synthèses techniques sur l'impact du changement climatique. C'est ainsi que le **GIEC** (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) a été mis en place en 1988 par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) et l'organisation des Nations Unies. Il **établit régulièrement un rapport de synthèse des résultats scientifiques** acquis sur les changements climatiques récents et les scénarios plausibles pour le futur.

Il faut souligner que le GIEC ne se substitue pas aux efforts des chercheurs en climatologie et n'est donc pas une agence supplémentaire qui réaliserait des recherches originales. Son objectif fondamental est de compiler et de synthétiser les informations scientifiques disponibles et de fournir aux gouvernants, aux décideurs et aux médias des rapports succincts sur la réalité et les projections du changement climatique. Sa raison d'être et sa grande utilité sont justement de fournir le cadre permettant à la recherche scientifique sur le climat d'accomplir un effort complémentaire.

Des enquêtes d'opinion ont montré que les chercheurs en climatologie sont globalement d'accord sur les faits importants comme l'existence du réchauffement depuis un siècle, l'ampleur de la perturbation du bilan radiatif terrestre par les gaz à effet de serre d'origine anthropique et enfin sur l'influence probable de cette perturbation humaine pour expliquer le réchauffement depuis 50 ans. Comme pour d'autres domaines, ce consensus n'est que la partie émergée de l'« iceberg » d'une recherche scientifique très active, qu'animent de nombreux débats sur des points importants entraînant des incertitudes notables dans la compréhension des variations climatiques du passé ainsi que dans la prévision de celles du futur.

La modélisation du climat : des accusations infondées

Ces enquêtes d'opinion ont également mis en évidence la divergence entre la perception des scientifiques, actifs spécialistes du domaine, et celle de groupes *a priori* moins compétents. Le grand public se partage en deux

3. Cellule de Hadley : circulation d'air comprenant un courant ascendant de la surface vers la haute atmosphère, situé à proximité de l'équateur et un courant descendant situé au Nord et Sud des tropiques, la boucle se refermant grâce aux alizés.

groupes, selon que les opinions sont pour ou contre le consensus des scientifiques, ce qui démontre que ces derniers doivent mieux communiquer sur leurs résultats et les inévitables incertitudes qui leur sont associées. Le fait que des thèses controversées ou erronées reçoivent un écho favorable auprès du grand public n'est pas totalement étonnant. Ce problème n'est d'ailleurs pas spécifique à la climatologie : on observe aussi que la validité scientifique de l'astrologie n'est pas perçue de la même manière par les astronomes et par le grand public, ni celle de l'homéopathie par les chercheurs en biologie médicale et toute autre personne, ni même celle du créationnisme par les biologistes et les paléontologues, d'une part, et les non-scientifiques, d'autre part.

Certains caricaturent le consensus des chercheurs en climatologie en le disant contraire à l'approche scientifique. Cette accusation est infondée, car il s'agit d'un consensus dynamique, c'est-à-dire sujet à révision permanente. Ce consensus s'appuie sur les travaux d'une multitude de chercheurs actifs qui, comme nous l'avons dit plus haut, débattent entre eux et utilisent les mécanismes de l'expertise scientifique appliqués à tous les domaines des sciences. Il y a un demi-siècle, le philosophe et historien des sciences Thomas Kuhn expliquait que *la recherche d'un consensus scientifique* n'est pas une fin en

soi, mais qu'elle est *une conséquence inévitable de l'approche scientifique*. Le consensus est même nécessaire pour que la science puisse progresser, ne serait-ce que pour le confirmer ou l'invalider. Si les scientifiques ne pouvaient se mettre d'accord sur un socle commun de connaissances, ils perdraient leur temps en discussions incessantes et ne pourraient progresser, même pour vérifier les faits en question.

Conclusion

La recherche médicale fournit également des exemples concrets de l'utilité du consensus scientifique. Les chercheurs sont d'accord sur les actions bénéfiques d'une multitude de traitements médicaux, même si de nombreuses incertitudes demeurent, comme on peut le lire sur la notice d'utilisation de tout médicament. La recherche médicale permet parfois, mais assez rarement, de revenir sur le consensus d'un temps en retirant une molécule de la pharmacopée officielle. Pour revenir au climat de la Terre, les docteurs en climatologie sont généralement d'accord pour constater que la température du patient est en hausse et que celui-ci doit être sevré au plus vite d'une overdose de gaz à effet de serre, néfaste pour la santé de notre planète.