

Le changement climatique, quels mécanismes, quels impacts ?

François-Marie Bréon, directeur adjoint au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE) au CEA ; conversation avec Cécile Crampon (SFEN)

La Terre a connu plusieurs changements climatiques au cours de son histoire. Comment celui que nous connaissons en ce début de siècle se caractérise-t-il ?

François-Marie Bréon¹ : Regardons la Terre à la fin de l'été 2020 : débarrassée de nuages, on voit clairement depuis l'espace l'Amérique du Nord, l'Europe, le Groenland, la banquise autour du pôle Nord. Il y a 20 000 ans, ces mêmes endroits étaient recouverts de glace dont la couche ne faisait pas une dizaine de centimètres comme aujourd'hui, mais 3 km d'épaisseur. Le niveau des mers était 130 mètres plus bas qu'aujourd'hui puisque toute l'eau sous forme de glace ne remplissait pas les océans. Or la différence de température moyenne est de l'ordre de 5 °C entre la Terre il y a 20 000 ans et aujourd'hui. Les changements climatiques attendus dans le siècle à venir sont du même ordre de grandeur. Une variation de 5 °C aurait un impact énorme sur la Terre.

Il y a 20 000 ans, les hommes n'étaient pour rien dans l'état du climat...

F-M.B. : C'est vrai. Aujourd'hui nous évoquons le changement climatique anthropique, dû aux émissions de dioxyde de carbone. Si l'on examine les émissions totales de dioxyde de carbone par les activités humaines sur les 150 dernières années, elles ont très fortement augmenté depuis la moitié du XXe siècle. Aujourd'hui, les activités humaines rejettent dans l'atmosphère 40 milliards de tonnes de dioxyde de carbone chaque année qui modifient la composition de l'atmosphère. Grâce à l'analyse de carottes glacières, vieilles de 450 000 ans, on note que les variations naturelles de la concentration de dioxyde de carbone étaient entre 170 ppm (partie par million) et 270 ppm. Aujourd'hui, nous oscillons entre 410 et 420 ppm, donc nous sommes complètement sortis de ces variations naturelles. Les mesures réalisées par mon laboratoire à différents endroits dans le monde, sur les quarante dernières années, montrent très bien l'augmentation régulière de la concentration en dioxyde de carbone dans l'hémisphère sud. L'hémisphère nord connaît en plus un cycle annuel polarisé, car la végétation absorbe du dioxyde de carbone au printemps et en été et en rejette au contraire en automne et en hiver, ce qui conduit à une oscillation de la concentration, à laquelle se rajoute la tendance liée aux activités humaines.

L'augmentation des températures est nette en France, voire supérieure à la température moyenne de la Terre. Cela s'explique essentiellement par le fait que les continents se réchauffent plus vite que les océans, mais aussi parce que les hautes latitudes se réchauffent plus vite que les basses latitudes

La composition de l'atmosphère est-elle modifiée et l'effet de serre accentué ?

F-M. B. : Oui. Ce changement de composition de l'atmosphère conduit à un changement de l'effet de serre qui est un phénomène parfaitement connu et compris. Des modèles permettent de calculer avec une extrême précision quelle est la quantité de rayonnement infrarouge qui peut s'échapper de la Terre en fonction, d'une part, de sa température, d'autre part, de la composition de l'atmosphère. Avec ces modèles, peut être calculé l'impact de cette augmentation du dioxyde de carbone sur le rayonnement infrarouge émis. Quand il y a plus de CO₂, il y a moins de rayonnement infrarouge émis ; c'est équivalent à un flux d'énergie supplémentaire qui rentre dans la Terre. L'impact du CO₂ est de 2 watts par m². D'autres gaz contribuent à l'effet de serre dans une moindre mesure : le méthane, le protoxyde d'azote et un certain nombre de composés chlorés. Le méthane est essentiellement lié à

¹ Auteur de « Réchauffement climatique » : Editions humenSciences/Humensis, septembre 2020

l'agriculture et à des fuites lors de l'extraction du gaz fossile. Le protoxyde d'azote provient des engrais agricoles. En rapport, les autres contributions sont faibles. Les aérosols (petites particules qui sont en suspension dans l'atmosphère dont certaines ont des origines naturelles, d'autres des origines humaines) conduisent à un refroidissement de la Terre qui vient en partie compenser l'impact du dioxyde de carbone et d'autres gaz à effet de serre. Les climatologues cherchent à quantifier cette perturbation de l'homme sur le climat, qui est un peu plus forte que 2 watts par m² avec une petite incertitude. L'augmentation de l'effet de serre conduit nécessairement à une hausse des températures. Des modèles de climat permettent de quantifier cette augmentation et les observations de vérifier que les modèles prédisent bien la bonne augmentation. La température moyenne de la Terre a augmenté nettement sur les derniers 150 ans, surtout à partir des années 1970, même si certaines fluctuations étaient déjà notées avant. Et les cinq années les plus chaudes sont les cinq dernières, c'est très net. En résumé, il faut retenir que la hausse des gaz à effet de serre conduit mécaniquement à un réchauffement climatique ; ce réchauffement entraînant une modification des circulations atmosphériques et océaniques, et donc un changement climatique.

Quelles observations fait-on sur la France ?

F-M. B. : L'augmentation des températures est nette en France, voire supérieure à la température moyenne de la Terre. Cela s'explique essentiellement par le fait que les continents se réchauffent plus vite que les océans, mais aussi parce que les hautes latitudes se réchauffent plus vite que les basses latitudes. Ceci signifie que pour un réchauffement de la Terre de 1 °C, le réchauffement de la France est de l'ordre de 1,5 °C. Concernant les épisodes caniculaires, les effets amplificateurs qui se rajoutent font que lorsque la température moyenne de la France se réchauffe de 1,5 °C, les épisodes de canicule ont tendance à être plus intenses, autour de 3 °C. Et une Terre à + 2 °C ne signifie pas des canicules de + 2 °C, mais plutôt de + 5 °C ou + 6 °C par rapport à celles que nous connaissons. Pour se projeter dans le futur, nous avons besoin de modèles de climat, tels que des modèles météorologiques avec des composantes supplémentaires qui permettent de modéliser les composants du système climatique intégrant des variations plus lentes que celles des variables météorologiques classiques. Et si on compare les modèles à la réalité, on peut se rendre compte que les modèles ont été capables d'anticiper ce qui s'est passé au moins sur les vingt dernières années.

Si on prenait des mesures très fortes dès aujourd'hui sur les concentrations, l'impact sur le climat ne se verrait que dans 20 ou 30 ans du fait de l'inertie du climat et de sa sensibilité au carbone

Quelles sont les projections pour ce siècle ?

F-M. B. : Une première incertitude concerne la trajectoire des concentrations de dioxyde de carbone. C'est la raison pour laquelle on simule plusieurs trajectoires de ces gaz à effet de serre dans le cadre des exercices du GIEC[1]. Si on suppose un accord global pour diminuer les émissions de carbone, on sera sur une trajectoire avec une stabilisation, voire une baisse des concentrations de dioxyde de carbone. Si on fait l'hypothèse que l'on n'arrivera pas à se mettre d'accord, il y aura une augmentation très rapide des concentrations. Ces données sont enregistrées dans les modèles de climat qui nous donnent une évolution des températures. Le scénario de la stabilisation des concentrations donne une stabilisation des températures, mais avec une certaine incertitude, variant de + 0,5 °C à + 1,5 °C supplémentaire par rapport à l'ère préindustrielle. D'autres incertitudes concernent les trajectoires de surface de la banquise. Les différents modèles donnent des scénarios un peu différents. Si on arrive à stabiliser les concentrations, on garde un peu de banquise autour du pôle Nord, en tout cas dans certains modèles ; d'autres considèrent que, même avec le scénario optimiste, il n'y aura plus de banquise à la fin de l'été. Dans le scénario extrême, tous les modèles disent qu'à partir de 2050, il n'y aura plus de banquise à la fin de l'été.

Vous dites que les incertitudes ne sont pas tellement liées à l'effet de serre en lui-même, mais plutôt aux rétroactions. C'est-à-dire ?

F-M. B. : Quand le climat change, d'autres éléments changent aussi, avec un renforcement éventuel de l'effet initial ou au contraire une atténuation. Le premier feedback positif ou rétroaction est l'effet de la vapeur d'eau. L'atmosphère peut contenir une certaine quantité de vapeur d'eau, qui augmente avec la température. Par conséquent, si la température de l'atmosphère augmente du fait de l'accroissement du CO₂, il y aura plus de vapeur d'eau dans l'atmosphère. La vapeur d'eau étant un gaz à effet de serre, va contribuer à une nouvelle augmentation de l'effet de serre, donc à un renforcement de l'effet initial, d'un facteur de 2 à 3. Un autre feedback est l'effet de la neige. Si le climat se réchauffe, il y aura moins de neige au sol. Aujourd'hui la neige réfléchit les rayons du soleil et c'est autant d'énergie solaire indisponible pour réchauffer la Terre. A contrario moins de neige au sol induit plus d'énergie solaire absorbée, et donc plus de réchauffement. Une des grandes incertitudes concerne les nuages. D'une part, ils réfléchissent le rayonnement solaire, donc ils ont tendance à refroidir la Terre, mais ils ont aussi un effet de serre. Il s'agit de savoir si un climat plus chaud entraînera plus ou moins de nuages, plus de nuages élevés ou bas. Tous les modèles disent qu'il y aura une augmentation des températures, plus élevée sur les continents que sur les océans et que le climat va se réchauffer.

Concernant les précipitations, dans la majorité des régions du globe, les modèles sont en désaccord. Cela signifie qu'il y a encore une grande incertitude sur ce qui va se passer pour ce qui concerne le cycle de l'eau. S'agissant du niveau des mers, il n'y a pas de doute qu'il va continuer à monter. Par ailleurs, le réchauffement engendrera la fonte de la glace, qui ajoutera de l'eau dans les océans, et contribuera à l'augmentation du niveau des mers. Même avec le scénario optimiste (stabilisation des concentrations de dioxyde de carbone conduisant à une stabilisation des températures), on n'observera pas de stabilisation du niveau des mers. L'augmentation des températures va se propager vers la profondeur des océans durant plusieurs centaines d'années, par conséquent la dilatation des mers va se poursuivre pendant très longtemps même si on arrive à stabiliser les températures de l'atmosphère. Les modèles basés sur la physique disent que l'augmentation du niveau des mers sera située entre 50 cm et 1 mètre à la fin du siècle.

Certains évoquent un effet d'inertie du carbone sur trente ans.

F-M. B. : Absolument, il y a une très forte inertie au climat. Par exemple, du fait de la crise sanitaire en 2020, les émissions de dioxyde de carbone ont très fortement régressé mais l'impact sur le climat est quasiment nul. L'impact sur le climat vient du carbone déjà émis, et le fait d'émettre un peu moins en 2020 ne change rien dans l'immédiat pour le climat. D'après les différents scénarios, si on prenait des mesures très fortes dès aujourd'hui sur les concentrations, l'impact sur le climat ne se verrait que dans vingt ou trente ans du fait de l'inertie du climat et de sa sensibilité au carbone.

[1] Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.