

MOOC CLIMAT

Causes et enjeux du changement climatique



SEMAINE 3 : LA MODELISATION DU CLIMAT

Ce document contient les transcriptions textuelles des vidéos proposées dans la partie « Projections à d'autres échelles de temps » de la semaine 3 du MOOC « Causes et enjeux du changement climatique ». Ce n'est donc pas un cours écrit au sens propre du terme ; le choix des mots, l'articulation des idées et l'absence de chapitrage sont propres aux interventions orales des auteurs.

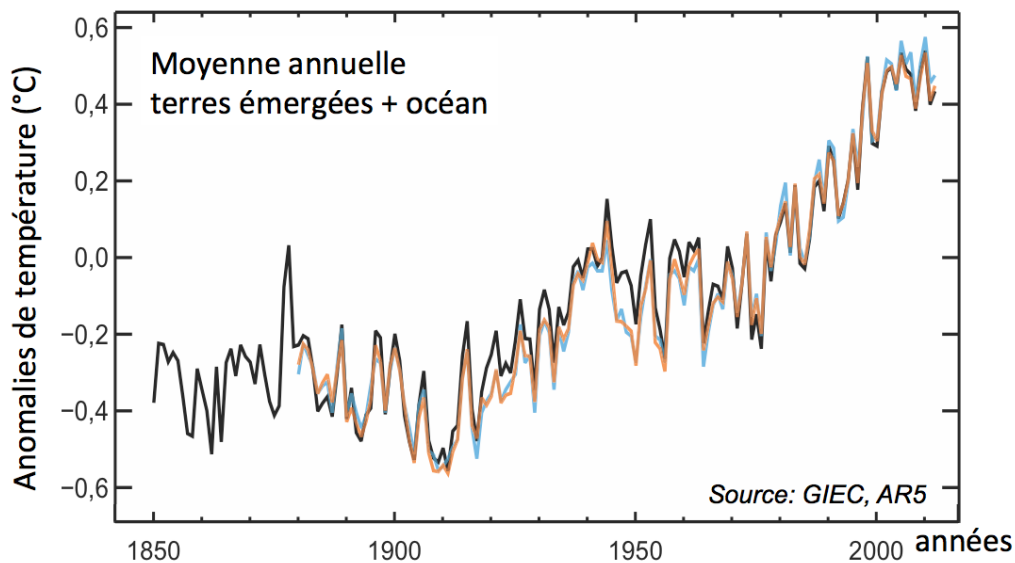
Modélisation de la variabilité climatique

Juliette MIGNOT

Chargée de recherche – IRD

Nous allons aborder la question de la modélisation de la variabilité climatique. Mais tout d'abord, pourquoi parle-t-on de variabilité climatique ?

- Regardons les variations observées de la température à la surface du globe au cours des 150 dernières années.
- On constate aisément une tendance au réchauffement que les chercheurs expliquent principalement par l'augmentation de la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre, mais également un certain nombre de variations d'une année sur l'autre, voire d'une décennie à l'autre.



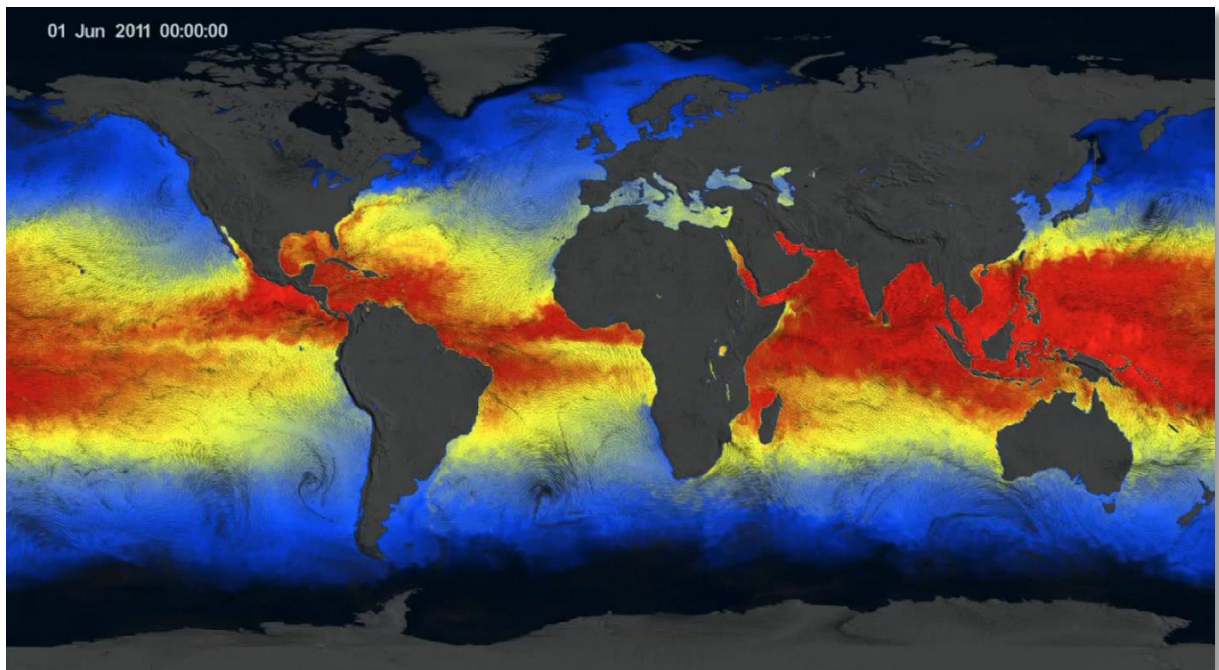
Considérons maintenant le résultat d'une vingtaine de simulations climatiques. Ces simulations climatiques ont en commun d'avoir subi un forçage externe.

- ⇒ On parle de forçage externe car il est externe au système climatique modélisé.
- Ce forçage peut être d'origine anthropique, comme l'augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère ou encore les émissions d'aérosol
- Il peut aussi être d'origine naturelle, comme par exemple l'effet des éruptions volcaniques ou des variations d'insolation.
- Ces courbes montrent l'évolution de la température globale à la surface de la Terre, à la fois dans les observations et dans ces différentes simulations.
- ⇒ Ces différentes simulations ont en effet en commun une tendance au refroidissement à la suite des différentes éruptions volcaniques (indiquée ici en pointillés) et une tendance au réchauffement, notamment visible sur la fin de la période et attribué à l'augmentation de la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre telle qu'indiqués précédemment.
- On remarque également que ces différentes simulations ne sont pas superposables.
- ⇒ Les trajectoires de variabilité simulées dans les différents modèles de climat ne sont pas phasées entre elles. Ceci est précisément dû à la variabilité climatique.

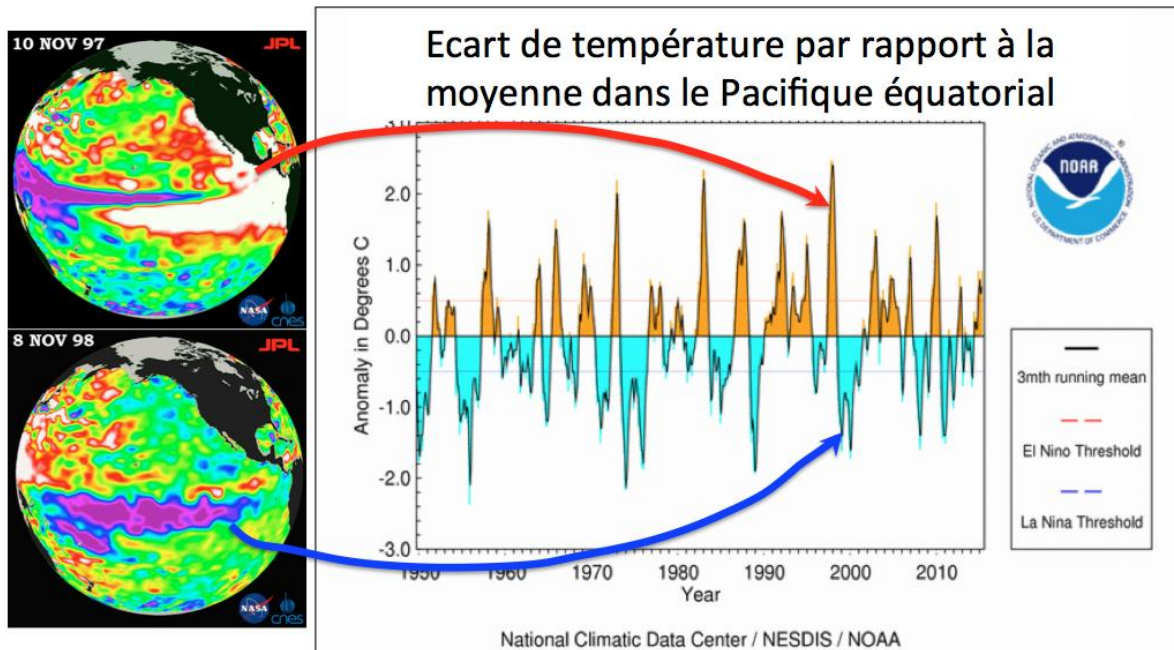
Pourquoi le système climatique est-il aussi variable ?

- Le système climatique est un système complexe, c'est un système en mouvement, alimenté par l'énergie solaire, mettant en jeu toutes sortes de processus à différentes échelles de temps et d'espace et mettant en jeu toutes sortes d'interactions entre ses différentes composantes.

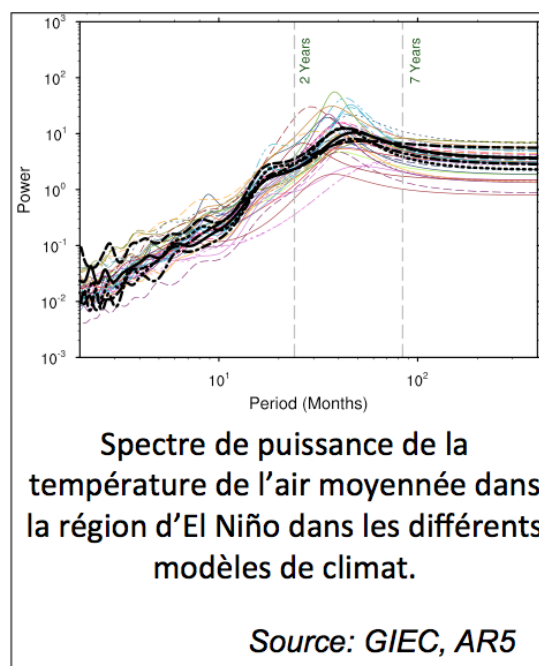
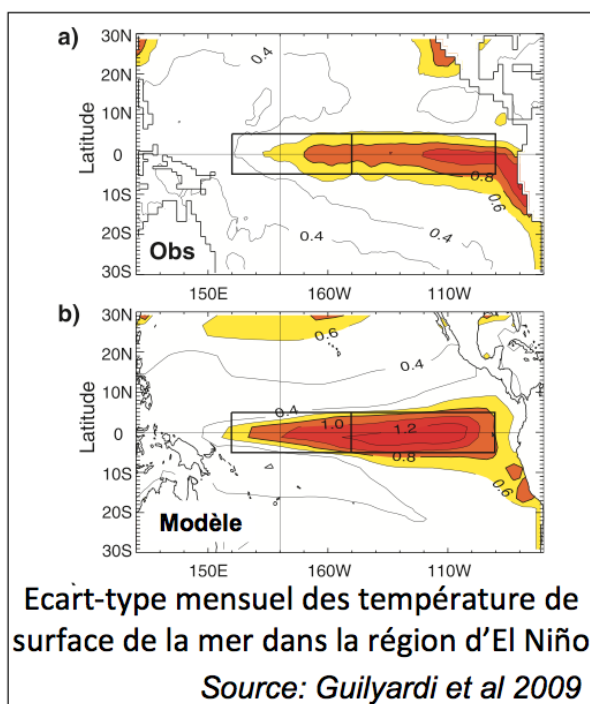
- Pour illustrer ce propos, nous regardons une vidéo réalisée par la NASA, montrant les températures à la surface de la mer à l'échelle de temps journalière, en couleurs, ainsi que la direction et l'amplitude des vents, la force du vent en traits noirs.



- En pratique, la variabilité climatique se caractérise par une organisation spatiale de grande échelle.
- ⇒ On parle de modes de variabilité.
- Nous illustrons ici le mode de variabilité probablement le plus connu, l'oscillation australe et son pendant océanique El Nino.
- Ce mode de variabilité climatique se caractérise par une alternance de températures plus chaudes et plus froides dans le Pacifique équatorial, plus chaudes ou plus froides que la normale dans le Pacifique équatorial, ainsi qu'une réorganisation plus générale de l'état de l'océan et de l'atmosphère.
- Cette série temporelle montre cette alternance de températures plus chaudes ou plus froides que la normale telle qu'elle a été observée au cours des 60 dernières années dans le Pacifique équatorial et les cartes illustrent la distribution de ces anomalies de températures, avec des températures plutôt plus chaudes dans le Pacifique équatorial Est au cours de l'hiver 1997 et des températures plus froides au cours de l'hiver 1998.



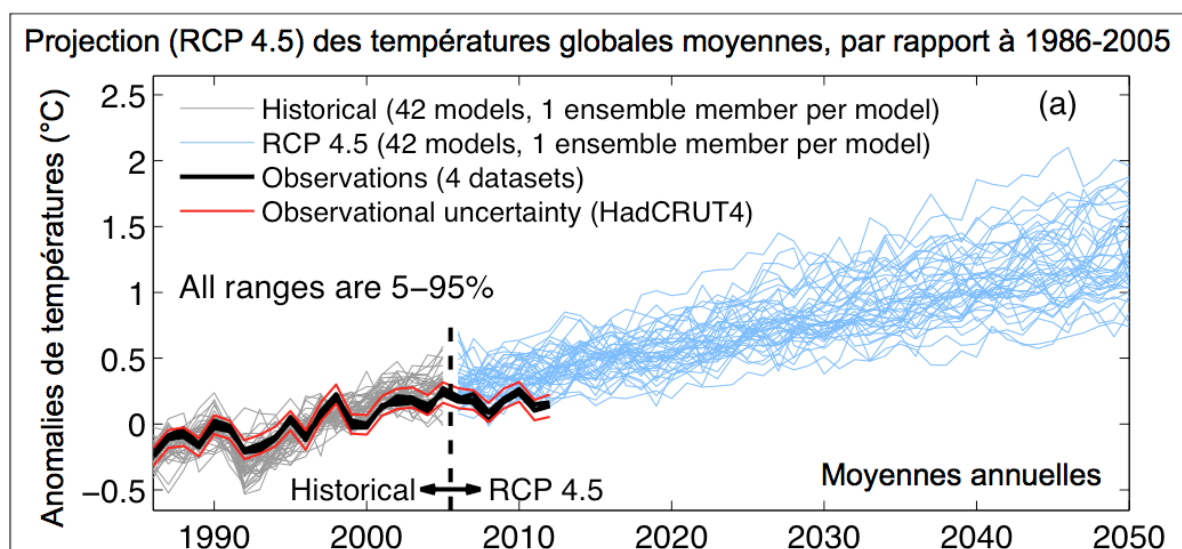
Les simulations climatiques reproduisent les caractéristiques statistiques de ce phénomène, par exemple, nous montrons ici l'amplitude typique des variations de température modélisée par un modèle de climat en bas et reproduite, des observations, en haut.



- On voit que le modèle de climat simule effectivement un maximum de variations de températures dans le Pacifique équatorial et notamment à l'Est, conformément aux observations.
- Une autre illustration : on montre à droite le spectre en puissance de la température de l'air, moyenné dans la région d'El Niño, dans les différentes simulations de climat.

- ⇒ On voit que ces simulations s'accordent sur le fait que le phénomène El Nino possède un maximum de puissance autour des échelles de temps entre deux et sept ans, conformément aux observations.
- Cependant, les simulations climatiques n'ont aucune raison de simuler la séquence chronologique de ces événements. En d'autres termes, ils n'ont aucune raison de simuler effectivement un hiver plus chaud que la normale en 1997 et un hiver plus froid que la normale en 1998.
- ⇒ Les simulations climatiques ne sont pas phasées sur la variabilité climatique observée.

En termes de projection climatique, c'est-à-dire lorsque l'on essaie de prévoir le climat au cours des prochaines décennies selon différents scénarios de forçage, cette variabilité climatique interne constitue une source d'incertitude.

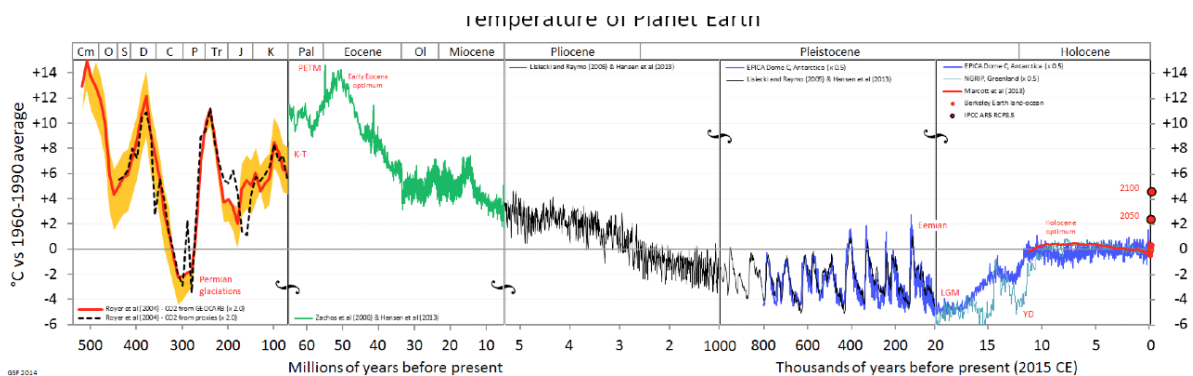


- On voit ici que les différentes trajectoires des simulations climatiques constituent une enveloppe qui est donc une source d'incertitude pour le décideur qui cherche à connaître le climat autour des années par exemple 2050.
- Pour la période historique pour laquelle on dispose d'observations, il est possible de contraindre le modèle à l'aide de ces observations et donc de réduire une partie de cette incertitude.
- ⇒ Cette technique que l'on appelle l'initialisation est un domaine de recherche émergent et il est à la base des activités de prévision du climat aux échelles de temps interannuelles à décennales.

Climat à « long terme » : ruptures et irréversibilités

Didier PAILLARD
Chercheur – CEA

Je vais vous parler des paléoclimats, donc les paléoclimats, les climats anciens, nous renseignent sur l'évolution naturelle du système climatique depuis plusieurs dizaines voire centaines de millions d'années et ça nous permet de situer la perturbation actuelle dans un contexte plus large et aussi de mieux en comprendre les processus.

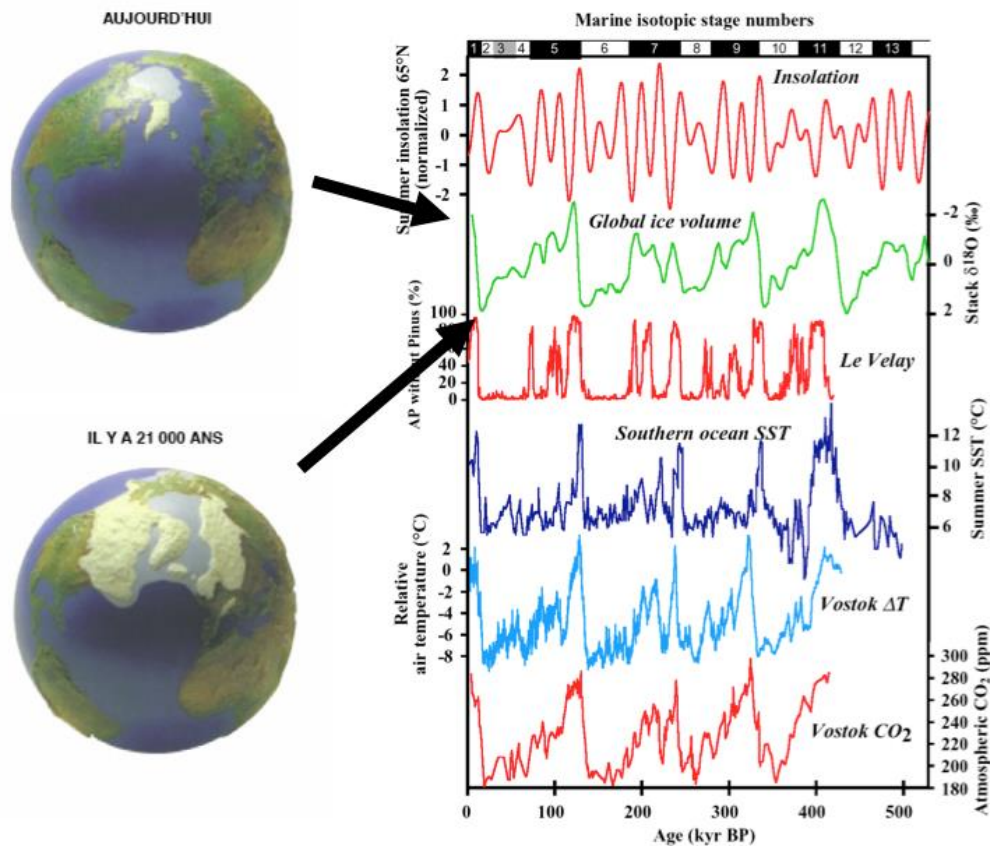


- Sur cette figure, vous avez une évolution des températures à la surface de la Terre au cours des dernières environ 500 millions d'années (quand on se place à la gauche de la figure), jusqu'à la période actuelle (sur la droite de la figure), et vous remarquez que l'échelle de temps est zoomée sur la partie la plus récente avec des unités qui correspondent à des milliers d'années sur la partie droite et plutôt des dizaines, centaines voire des centaines de millions d'années sur la partie gauche.
- L'amplitude de ces variations est de plusieurs degrés, voire même jusqu'à environ 10°C plus chauds pour les périodes les plus chaudes.
- ⇒ 10°C en plus, ça correspond à des climats tropicaux dans les régions polaires actuelles avec des fossiles de crocodiles ou des fossiles de palmiers que l'on retrouve au nord du cercle polaire par exemple.
- ⇒ Et à l'inverse, les périodes les plus froides, notamment le dernier maximum glaciaire il y a environ 20 000 ans, correspondent à des étendues glacées très développées, notamment sur le Canada ou sur l'Europe du Nord, comme je vous en parlerai un petit peu plus loin.
- Ce qu'il faut remarquer, c'est que notre période, récente, disons, à l'échelle de l'évolution des écosystèmes, c'est-à-dire quelques millions d'années, nous sommes plutôt dans une

période relativement froide et nos écosystèmes sont plutôt adaptés à des climats froids tels qu'ils ont pu fluctuer au cours des dernières périodes glaciaires et interglaciaires.

- Dans ce contexte, une question intéressante c'est de savoir ce qui permet de réguler le climat aux échelles de temps géologiques.
- Il est intéressant de voir que les systèmes de régulation en fait, il n'y en a pas tant que ça et sans doute le plus important c'est le cycle du carbone.
- ⇒ En effet, le carbone sur Terre est contrôlé essentiellement par une source volcanique, c'est-à-dire la quantité de carbone augmente dans l'atmosphère et dans les océans sous l'influence des volcans et à l'inverse, l'érosion des continents permet de générer une précipitation des carbonates au fond des océans et donc cette érosion va permettre de diminuer la quantité de CO₂ dans l'atmosphère.
- Il se trouve que l'érosion dépend du climat et plus il fait chaud, plus l'érosion est importante et c'est ce mécanisme qui va permettre de contrôler la température à la surface de la Terre aux échelles de temps géologiques.
- En particulier, vous avez sur la gauche un zoom sur la transition paléocène – éocène, il y a environ 55 millions d'années, et cette période de temps est assez intéressante puisqu'elle correspond à un événement abrupt, à un accident climatique avec une remontée très brutale des températures comme on peut le voir sur la figure du milieu.
- ⇒ Donc l'échelle de temps ici s'étale entre 56 millions d'années jusqu'à 54 millions d'années.
- On voit que ce réchauffement très brutal d'environ 5°C s'accompagne sans doute d'une augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère et d'une augmentation de l'acidité dans les océans (donc ce n'est pas sans rappeler ce qui nous arrive en ce moment). Et, de façon naturelle, le thermostat carbone permet de revenir à l'état initial au bout d'environ 200 000 ans.
- ⇒ C'est-à-dire, notre planète est régulée à travers le cycle du carbone avec une constante de temps d'environ 200 000 ans, ce qui est très court à l'échelle géologique, sans doute un petit peu long à l'échelle de nos sociétés humaines.
- De façon plus récente, nous avons donc des cycles glaciaires et interglaciaires avec une alternance récente donc entre des périodes de maximum glaciaire (comme il y a environ 20 000 ans) et puis des périodes interglaciaires (comme ce que nous vivons aujourd'hui ou en tout cas dans la période historique).
- Ces cycles sont très intéressants parce que, d'une part, dans l'histoire des sciences c'est la première démonstration que les climats changent effectivement au cours du temps.

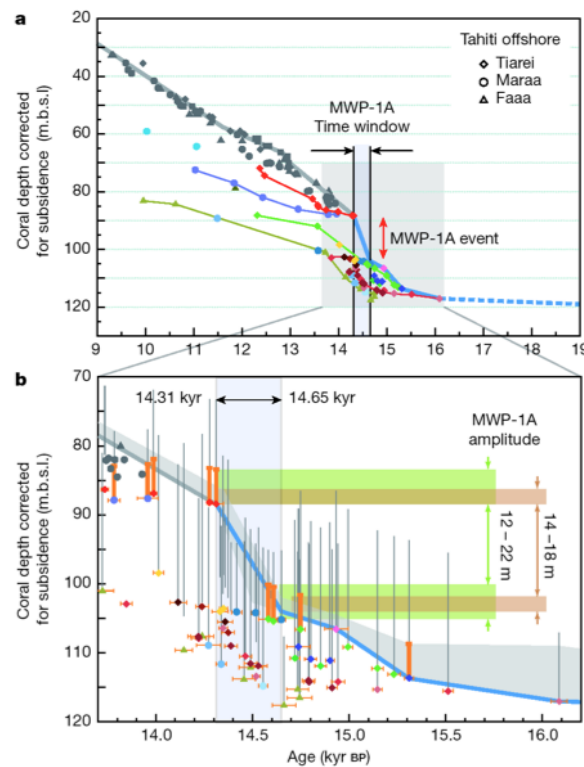
⇒ Donc au XIXe siècle, c'est la découverte de ces périodes glaciaires qui a posé la question climatique aux scientifiques et donc de savoir comment fonctionnait le système climatique.



⇒ Et les mécanismes sous-jacents ne sont d'ailleurs toujours pas très bien compris. Alors il est clair que ces cycles sont rythmés par les paramètres orbitaux de la Terre, donc par des phénomènes astronomiques mais il est aussi prouvé maintenant que le cycle du carbone a un rôle très actif dans le fonctionnement de ces cycles glaciaires et interglaciaires.

- Pour donner quelques chiffres, en période glaciaire, on a une température d'environ 5°C plus froide, des calottes de glace, comme on peut le voir sur l'hémisphère Nord représenté en bas, ces calottes de glace recouvrent l'ensemble du Canada et de l'Europe actuelle, et ça correspond à une baisse du niveau marin puisque cette glace provient ultimement de l'océan, donc une baisse du niveau marin d'environ 120 mètres ce qui a des conséquences assez majeures sur la forme des continents et sur le trait de côte.
- On pourrait penser que ces variations climatiques à long terme sont en général lentes, ce qui est vrai, une des surprises de cette dernière décennie, c'est de s'apercevoir qu'en fait, il y a certains événements extrêmement rapides qui surviennent au cours de ces changements climatiques.

- En particulier pendant les périodes de réchauffement comme la dernière déglaciation, on se rend compte que l'on peut avoir des réchauffements très importants, de l'ordre de 10°C au Groenland environ à l'échelle d'une vie humaine (c'est-à-dire environ 50 ans), et sur ce même type d'événement, on a de façon associée, des débâcles d'icebergs très importantes, donc avec des diminutions importantes du volume des calottes de glace.

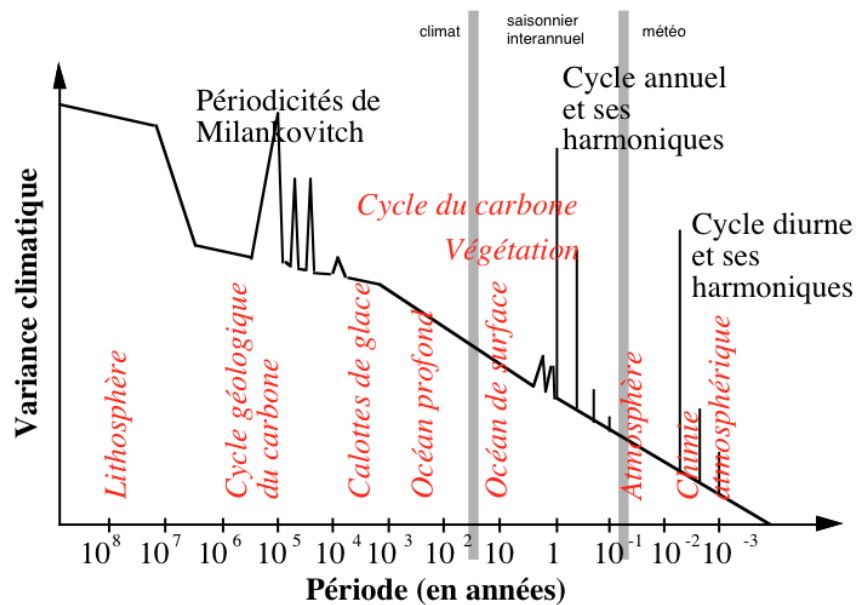


(Deschamps et al., Nature 2012)

- Notamment il y a 14 600 ans, on s'est rendu compte que le niveau de la mer était remonté d'environ une vingtaine de mètres en 300 ans, ce qui correspond à un rythme d'environ 5 ou 6 mètres par siècle, ce qui est absolument considérable.
- Donc ce genre d'événements très rapides dans les changements climatiques sont encore très mal compris mais ça pose effectivement des questions dans le contexte actuel de savoir si ce genre de choses doivent être envisagées ou pas à l'échelle du siècle ou des siècles prochains.

Pour conclure, on se rend compte que les composantes lentes du système climatique ont un rôle finalement assez structurant sur l'état du système climatique.

- ⇒ Donc notamment dans ces composantes lentes j'inclus l'océan profond, les calottes de glace et le cycle du carbone à long terme tel que je vous l'ai présenté.



Et les mécanismes associés malheureusement ne sont pas toujours bien compris, ils sont relativement incertains parce que nous manquons de recul et d'observation quant aux variations de ces composantes lentes du système, et par conséquent, elles sont souvent relativement mal prises en compte, voire parfois pas du tout prises en compte dans les projections climatiques futures.

Néanmoins, il me semble important de comprendre que le contexte de changement climatique actuel va entraîner donc ce type de changements à très long terme, avec à la fois des variations lentes mais aussi potentiellement des variations rapides et des ruptures dans le système.