

## **Quand la Terre perdra-t-elle ses océans ?**

**Sous l'effet de la luminosité naturellement croissante du Soleil - un phénomène très lent sans lien avec le réchauffement climatique actuel -, les températures terrestres devraient augmenter dans les futures centaines de millions d'années. Principale conséquence, l'évaporation complète des océans. Une équipe du Laboratoire de météorologie dynamique<sup>1</sup> (CNRS / UPMC / ENS / École polytechnique) a imaginé le premier modèle climatique tridimensionnel permettant de simuler ce phénomène. Il prédit la disparition de l'eau liquide sur Terre dans près d'un milliard d'années repoussant les estimations de plusieurs centaines de millions d'années. Publiés le 12 décembre 2013 dans la revue *Nature*, ces travaux permettent de mieux appréhender l'évolution de notre planète mais également de déterminer les conditions nécessaires à la présence d'eau liquide sur d'autres planètes similaires à la Terre.**

Comme la plupart des étoiles, la luminosité du soleil augmente très lentement au cours de son existence<sup>2</sup>. On s'attend ainsi, sous l'effet du rayonnement solaire, à un réchauffement du climat terrestre à l'échelle des temps géologiques (de l'ordre de la centaine de millions d'années), indépendant du réchauffement climatique causé par l'homme considéré à l'échelle des décennies. En effet, la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère augmente avec la température des océans (l'eau s'évapore plus vite). Or, la vapeur d'eau est un gaz à effet de serre qui participe au réchauffement de surface de la Terre. Les scientifiques prévoient donc un emballement du réchauffement climatique sur Terre, provoquant une ébullition des océans et la disparition d'eau liquide en surface. Autre conséquence : l'effet de serre s'emballerait et deviendrait instable, ne permettant plus de conserver sur Terre une température moyenne clémente de 15°C. Ce phénomène pourrait expliquer pourquoi Vénus, un peu plus proche du Soleil que la Terre, s'est autrefois transformée en fournaise. Il permet par ailleurs de comprendre le climat des exoplanètes.

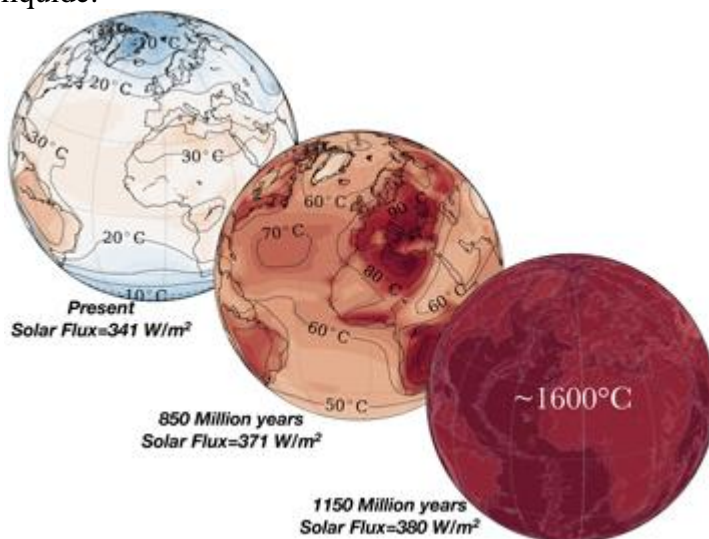
Quand cet emballement pourrait-il intervenir sur Terre ? Il était jusqu'à présent difficile d'évaluer ce moment avec fiabilité. En effet, ce phénomène avait uniquement été étudié à l'aide de modèles d'astrophysique très simplifiés (à une seule dimension) : ceux-ci considéraient la Terre comme uniforme et ne prenaient pas en compte des éléments essentiels comme les saisons ou les nuages (les modèles climatiques utilisés pour prédire le climat des

décennies à venir ne sont pas adaptés pour des chaleurs aussi fortes). Certains de ces modèles unidimensionnels avaient prédit que d'ici seulement 150 millions d'années, la Terre commencerait à perdre toute son eau dans l'espace et se transformerait en une nouvelle Vénus.

Une équipe du Laboratoire de météorologie dynamique (CNRS / UPMC / ENS / École polytechnique) a conçu un modèle climatique tridimensionnel capable de prédire l'évolution de l'environnement terrestre sous l'effet d'une augmentation très forte du flux solaire induisant l'évaporation de l'eau liquide dans l'atmosphère. Selon ce modèle sophistiqué, le basculement devrait se produire lorsque le flux solaire moyen atteindra environ  $375 \text{ W/m}^2$  pour une température de surface de près de  $70^\circ\text{C}$  (le flux actuel étant de  $341 \text{ W/m}^2$ ), soit dans près d'un milliard d'années. Les océans se mettraient alors à bouillir et l'effet de serre augmenterait jusqu'à s'emballer. Ce résultat repousse de plusieurs centaines de millions d'années la vaporisation complète des océans telle qu'elle était prédite précédemment.

Pourquoi une telle différence ? Elle est due à la circulation atmosphérique qui, tout en transportant de la chaleur depuis l'équateur vers les moyennes latitudes, assèche ces régions chaudes et réduit l'effet de serre là où il est le plus susceptible de s'emballer. L'augmentation du flux solaire semble intensifier cette circulation atmosphérique, asséchant davantage les régions sub-tropicales et stabilisant le climat pendant plusieurs centaines de millions d'années avant d'atteindre « le point de non-retour ». Par ailleurs, ces travaux montrent que l'effet « parasol » des nuages, autrement dit leur propension à réfléchir le rayonnement solaire, qui participe au refroidissement du climat actuel, tend à s'atténuer au fil des millions d'années en comparaison de leur effet de serre. L'effet « parasol » des nuages contribuerait donc au réchauffement et à la déstabilisation du climat.

Ces résultats permettent en particulier de préciser la valeur de la zone « habitable » autour du Soleil. Ils indiquent qu'une planète peut s'approcher à moins de 0,95 unité astronomique<sup>3</sup> d'une étoile équivalente au Soleil d'aujourd'hui avant de perdre toute son eau liquide, soit 5% de moins que la distance Terre-Soleil. En outre, ils soulignent une fois encore qu'une planète n'a pas besoin d'être exactement comme la Terre pour posséder des océans. Les chercheurs comptent désormais appliquer ce modèle à des planètes extrasolaires afin de mieux déterminer quel environnement permettrait de maintenir de l'eau liquide.



Simulations numériques de la température à la surface de la Terre à l'équinoxe de printemps exposée à un Soleil de plus en plus lumineux à l'avenir. Les deux premières figures sont obtenues avec le modèle de climat global. La seconde se situe juste avant la vaporisation complète des océans. La dernière (380 W/m<sup>2</sup>) est une extrapolation illustrant les températures après la vaporisation complète des océans. Les dates (exprimées en myr – abréviation de million years - soit en millions d'années) illustrent l'évolution du Soleil : en réalité, continents et reliefs seront totalement différents dans ce lointain futur.

---

## Notes :

<sup>1</sup> Le Laboratoire de météorologie dynamique est un laboratoire faisant partie de l'Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL). Ce projet a bénéficié de l'attribution d'une allocation post-doctorale Région Ile-de-France.

<sup>2</sup> On estime qu'à l'origine du système solaire, il y a 4,5 milliards d'années, la luminosité du Soleil était égale à 70 % de sa valeur actuelle, soit une hausse d'environ 7% par milliard d'années.

<sup>3</sup> 1 unité astronomique, UA, équivaut à 150 millions de kilomètres

## Références :

Increased insolation threshold for runaway greenhouse processes on Earth like planets.  
Jérémy Leconte, François Forget, Benjamin Charnay, Robin Wordsworth, and Alizée Pottier.  
*Nature*. 12 décembre 2013. DOI: 10.1038/nature12827

## Contacts :

Chercheurs | Jérémy Leconte | T +1 647 895 2100 | [jeremy.leconte@lmd.jussieu.fr](mailto:jeremy.leconte@lmd.jussieu.fr)  
François Forget | T +33 6 71 20 07 50 | [forget@lmd.jussieu.fr](mailto:forget@lmd.jussieu.fr)  
Presse CNRS | Priscilla Dachet | T +33 1 44 96 46 06 | [priscilla.dacher@cnrs-dir.fr](mailto:priscilla.dacher@cnrs-dir.fr)