



HAL
open science

Tant de temps!

Gilles Ramstein

► **To cite this version:**

| Gilles Ramstein. Tant de temps!. Clefs CEA, 2020, 71, pp.25-26. hal-03260444

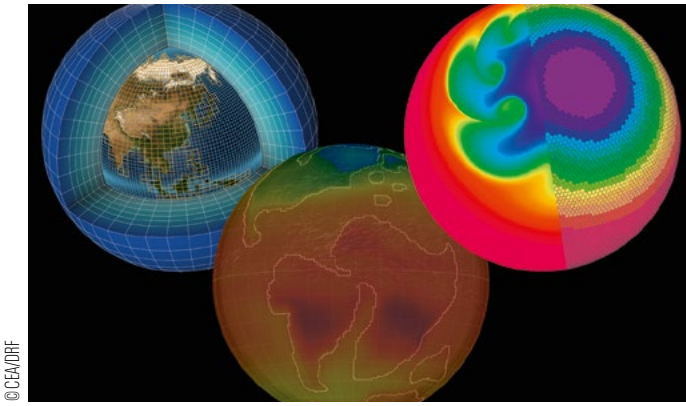
HAL Id: hal-03260444

<https://hal.science/hal-03260444>

Submitted on 15 Jun 2021

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.



←

Modèles du système Terre

À gauche : représentation des grilles permettant de calculer l'évolution de l'atmosphère, de l'océan et de la surface continentale. Plusieurs modèles, de complexités différentes, sont développés et utilisés au LSCE en fonction des sujets d'étude.

Au milieu : température et vents simulés pour le Crétacé. Le LSCE s'intéresse à l'évolution des climats passés, présent et futurs.

À droite : test académique visant à étudier la croissance des perturbations des moyennes latitudes avec le nouveau cœur dynamique DYNAMICO. À gauche : avec une résolution très fine ; à droite : avec une résolution plus grossière, montrant la grille icosaédrique de DYNAMICO. Ce modèle devrait être intégré dans le prochain modèle de l'IPSL.

Tant de temps !

— Une difficulté majeure de l'étude du climat réside dans la très grande diversité des échelles de temps à considérer. À l'extrême long, sur des centaines de millions d'années, la tectonique des plaques et les variations de l'intensité du Soleil sont les moteurs principaux de sa variabilité (p. 25). À l'échelle des derniers millions d'années, les variations de l'orbite terrestre sont la principale cause des grands changements climatiques tels que l'alternance des périodes glaciaires et interglaciaires, avec un rôle majeur de la réponse des calottes de glace à ces variations orbitales (p. 27). À l'extrême court, c'est la dynamique des nuages qui est le plus important (p. 31). Entre les deux, la concentration atmosphérique de dioxyde de carbone (CO₂) présente une variabilité à toutes les échelles de temps (p. 29), avec une hausse très rapide ces dernières décennies due aux activités humaines et qui cause le réchauffement climatique. Tous ces phénomènes sont étudiés par les équipes du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE-IPSL, unité mixte CEA/CNRS/UVSQ).

Dynamique du système Terre à l'échelle géologique

Nous nous intéressons ici à des échelles de temps, qui vont du million aux milliards d'années. À ces échelles, certains phénomènes sont imperceptibles à l'aune d'une vie humaine ! Commençons par le pourvoyeur de la quasi-totalité de l'énergie disponible sur notre planète : le Soleil, dont on sait que la luminosité a évolué, augmentant de 7 % par milliard d'année (figure 1). Ainsi, à l'origine du Système solaire, avec un soleil d'une luminosité plus faible d'environ 30 %, la Terre aurait dû s'englacer. Mais, selon les données dont nous

disposons, des océans chauds ont existé durant tout cet **Eon** (4-2,5 milliards d'années). Ce n'est que vers 3 milliards d'années qu'on observe les premières traces de glaciation. Ce qui a évité à notre planète de devenir une boule de glace comme Encelade et Europe, des satellites gelés de Saturne et Jupiter, c'est le contenu en gaz à effet de serre de son atmosphère, en particulier du CO₂, qui s'équilibrait à des valeurs très élevées, compensant ainsi l'apport moindre en énergie d'un soleil jeune et blafard.

Avec l'émergence des masses continentales et de la tectonique des plaques autour de 3 milliards

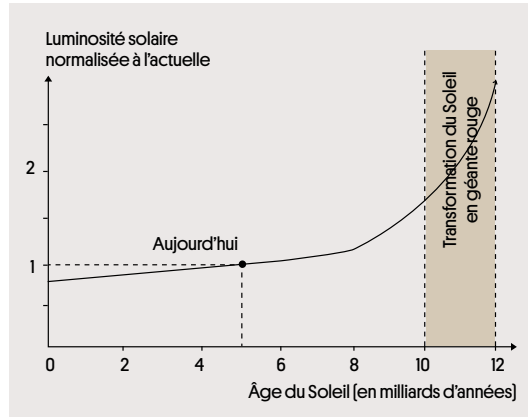
AUTEUR

**Gilles Ramstein**

[Direction de la recherche fondamentale]

Chercheur au LSCE.

→ **Figure 1** : évolution de l'intensité du Soleil. Dans sa séquence principale, avant de se transformer en géante rouge entre 10 et 12 milliards d'années [zone grisée], l'intensité lumineuse augmente presque linéairement, avec le temps, de 7% par milliard d'années.



GLOSSAIRE

Eon
Intervalle de temps géochronologique correspondant à la plus grande subdivision chronostratigraphique de l'échelle des temps géologiques. Les quatre éons terrestres sont les suivants : Hadéen (de - 4,6 à - 4 milliards d'années), Archéen (de - 4 à - 2,5 milliards d'années), Protérozoïque (de - 2,5 à - 0,541 milliards d'années) et Phanérozoïque (depuis l'explosion biologique cambrienne il y a 541 millions d'années, jusqu'à nos jours).

RÉFÉRENCES

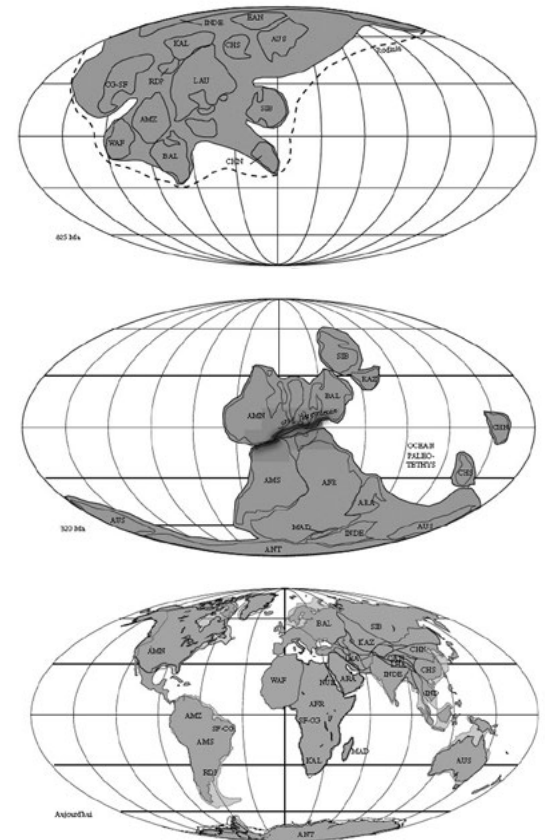
[1] **W. Köppen, A. Wegener**, «Die Klimate der geologischen Vorzeit», *Gebrüder Borntraeger*, Berlin, 255 p. [1924].
W. Köppen, A. Wegener, «The Climates of the Geological Past/ Die Klimate der geologischen Vorzeit [reproduction and translation]», edited by J. Thiede, K. Lochte, A. Dummermuth; transl. by B. Oelkers. Borntraeger Science Publishers, Stuttgart [2015].
 [2] **J. C. G. Walker, P. B. Hays, J. F. Kasting** «A negative feedback mechanism for the long-term stabilization of Earth's surface temperature», *Journal of Geophysical Research*, 86n, pp. 9776-9782 [1981].
 [3] **G. Ramstein, Y. Godderis, Y. Donnadieu, P. Sepulchre, F. Fluteau, Z. Zhang, R. Zhang, B. Su, D. Jiang, M. Schuster, J. Besse**, «Some illustrations of large tectonically driven climate changes in Earth history», *Tectonics* ["Fifty years of Plate Tectonics: then, now and beyond"], <https://doi.org/10.1029/2019TC005569> [2019].

d'années, ce dernier processus va s'avérer un mécanisme clé pour réguler les variations climatiques à l'échelle géologique des dizaines de millions d'années.

Sur la lithosphère, les continents ont évolué au cours du temps (figure 2), oscillant entre l'accrétion de toutes les plaques pour former un seul continent géant et son éclatement en plaques distinctes, qu'on appelle cycle de Wilson et qui dure environ 500 millions d'années. Ainsi, le dernier supercontinent, La Pangée, date de 250 millions d'années et le précédent, la Rodinia d'environ 1 milliard d'années. Mis en lumière par Alfred Wegener et Wladimir Köppen [1] dès 1920, à partir des changements de végétation, ces mouvements ont bien évidemment des effets directs sur le climat, qui sont liés à la dérive en latitude des continents. De fait, les effets de la tectonique sont multiples. Ils se traduisent par des changements paléogéographiques horizontaux et verticaux (dérive des continents et formation d'immenses chaînes de montagne) mais également l'ouverture et/ou la fermeture de détroits ainsi que le comblement de mers épicontinentales. La circulation atmosphérique est directement modifiée par l'effet barrière des immenses chaînes de montagnes, par exemple dans la région du Tibet et de l'Himalaya, et la circulation océanique affectée par l'ouverture de détroits, comme celle du passage de Drake entre l'Amérique du Sud et l'Antarctique, rendant possible le courant circumpolaire. Mais il a fallu attendre la seconde moitié du XX^e siècle pour que James Walker et James Kasting démontrent le lien étroit entre tectonique, climat et contenu atmosphérique en CO₂ [2].

On peut simplifier ce mécanisme de régulation comme suit. Imaginons que les plaques continentales forment un supercontinent situé en région polaire. Comme il y fait très froid et que c'est aussi très aride, le cycle hydrologique sera largement amorti; c'est le cas aujourd'hui au centre de l'Antarctique. À ces échelles de temps, l'érosion est le facteur principal pour extraire du CO₂ atmosphérique et le transporter dans les océans, via les rivières : c'est ce qu'on appelle un « puits » pour le CO₂. Dans notre exemple, ce puits

est quasiment réduit, du fait de l'aridité: la concentration en CO₂ atmosphérique augmente donc, ce qui contrecarre le refroidissement. À l'opposé, si toutes les plaques se situent en région tropicale, où il fait très chaud mais aussi très humide, l'érosion est favorisée par les pluies intenses, ce qui engendre une baisse du CO₂ atmosphérique, limitant le réchauffement. Ainsi ce triptyque - tectonique, climat et teneur en CO₂ dans l'atmosphère - régule l'évolution climatique à l'échelle géologique [3]. Et ces mécanismes évitent que, sur Terre, la température ne s'emballe vers le chaud comme sur Vénus ou vers le froid comme sur Mars. Les conséquences de ces régulations sont fondamentales, à l'heure où nous cherchons de la vie sur d'autres planètes. Il ne faudrait pas que la vie soit évanescente, ce qui limiterait très fortement notre capacité à la détecter. Or, notre planète est la seule sur laquelle la vie existe et s'est adaptée au changement climatique sur 3,7 milliards d'années. Cette longévité est certainement un atout dans la recherche de vie extra-terrestre. ●



↑ **Figure 2** : distribution des continents dans différents contextes. Configuration paléogéographique des deux supercontinents Rodinia [825 Ma] et Pangée [320 Ma]. Nous sommes aujourd'hui dans une phase très étalée avec des plaques continentales éloignées [Fluteau et al., In : *Paleoclimatology*, Springer, 2020].