

Multiples attracteurs climatiques dans une planète-océan couplée

M. Brunetti¹, J. Kasparian¹ & C. Vérard²

¹ Institut des Sciences de l'Environnement et Groupe de physique appliquée, Université de Genève, 66 bd Carl-Vogt, 1211 Genève 4, Suisse

² Section des Sciences de la Terre et de l'Environnement, Université de Genève, 13 rue des Maraîchers, 1211 Genève 4, Suisse

jerome.kasparian@unige.ch

Le climat terrestre est un système dynamique qui évolue, sous l'effet de la distribution inhomogène de l'irradiance solaire, vers un état de quasi-équilibre. Même en négligeant d'éventuels forçages dépendants du temps (par exemple d'origine anthropique), les interactions non-linéaires entre l'atmosphère, l'océan, la cryosphère et la biosphère rendent son étude extrêmement complexe. Cette complexité a été historiquement appréhendée par une hiérarchie de modèles de plus en plus complets, depuis les modèles de bilan d'énergie jusqu'aux modèles de circulation générale (GCM). Nous utilisons le GCM du MIT (MITgcm) [1,2] pour étudier numériquement une planète-océan couplée, c'est-à-dire un système où le couplage entre l'atmosphère, l'océan et la banquise est pris en compte, mais leurs mouvements est simplifié par l'absence de continents.

Sous l'effet d'un forçage externe constant, et pour des conditions initiales fixées, les solutions d'un système dynamique sont attirées vers des bassins d'attraction, ou attracteurs, qui représentent le squelette de leur dynamique non-perturbée. Aux frontières des attracteurs, la dynamique est fortement non-linéaire et de petites perturbations peuvent causer des modifications abruptes et potentiellement irréversibles correspondant au passage d'un bassin à l'autre. De telles crises endogènes sont généralement nommées points de bascule dans la dynamique climatique, ou transitions critiques en physique statistiques. Le climat actuel présente de tels points de bascule, tels que la circulation des courants dans l'océan Atlantique, le relargage de méthane par la fonte du permafrost, ou la disparition de la forêt amazonienne [3].

Dans une planète-océan, seulement trois attracteurs avaient été identifiés [4], Nous avons mis en évidence jusqu'à cinq bassins d'attraction distincts pour le même forçage radiatif [5]. De plus, la structure globale du squelette du système non perturbé dépend du détail de la description physique implémenté dans les simulations, et notamment de la prise en compte de la réinjection sous forme thermique de l'énergie cinétique dissipée ainsi que la dépendance en altitude de l'albédo des nuages. Une planète-océan couplée est donc un système suffisamment riche pour produire une structure dynamique complexe.

Chaque attracteur correspond à un climat différent, depuis un océan totalement englacé jusqu'à un océan complètement libre de glace. Nous avons déterminé les rétroactions qui conditionnent chaque attracteur en décrivant pour chacun la circulation océanique, le transport de chaleur, la couverture nuageuse et la distribution de température de surface. L'analyse s'appuie notamment sur la dimension instantanée, la persistance, l'entropie d'échantillon, et l'analyse en composantes principales.

Références

1. J. Marshall, A. Adcroft, C. Hill, L. Perelman, and C. Heisey, *J. Geophys. Res.* **102**, 5753 (1997).
2. J. Marshall, C. Hill, L. Perelman, and A. Adcroft, *J. Geophys. Res.* **102**, 5733 (1997).
3. T. M. Lenton, H. Held, E. Kriegler, J. W. Hall, W. Lucht, S. Rahmstorf, and H. J. Schellnhuber, *Proc. Nat. Acad. Sci.* **105**, 1786 (2008).
4. D. Ferreira, J. Marshall, and B. Rose, *J. Climate* **24**, 992 (2011).
5. M. Brunetti, J. Kasparian, C. Vérard, Co-existing attractors in coupled aquaplanet, soumis à *Climate Dynamics* (2019)