« COMPRÉHENSION DU CLIMAT DE L'ORDOVICIEN À L'AIDE DE LA MODÉLISATION NUMÉRIQUE » PAR ALEXANDRE POHL

Discipline : météorologie, océanographie, physique de l'environnement -
Laboratoire : Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE)

Résumé :
L'Ordovicien (485–444 Ma) est une période géologique caractérisée par la concomitance d'une glaciation majeure et de l'une des 5 plus grandes extinctions de masse de l'histoire de la Terre. Cette thèse avait pour objectif d'améliorer la compréhension de l'évolution du climat à cette époque à l'aide de la modélisation numérique, et de fournir une image cohérente de la glaciation. Nous avons d'abord démontré que la configuration continentale ordovicienne induit une dynamique océanique particulière, à l'origine d'une instabilité climatique permettant un refroidissement brutal du climat global sans variation importante de la concentration atmosphérique en CO2 (pCO2). Dans un deuxième temps, un modèle innovant couplé climat-calotte a permis de produire la première simulation de la mise en place de la glaciation supportée par les données géologiques, sous un scénario cohérent de baisse de la pCO2. Les résultats indiquent que les premières glaces continentales se seraient mises en place dès l'Ordovicien Moyen (465

Ma), quelque 20 millions d'années plus tôt qu'initialement envisagé. Dans ce scénario, le franchissement de l'instabilité climatique ordovicienne marque la mise en place du maximum glaciaire au cours de l'Ordovicien terminal Hirnantien (445–444 Ma). Des expériences réalisées avec un modèle de végétation primitive montrent que le développement des plantes non-vasculaires a pu constituer le mécanisme à l'origine de la chute de la pCO2, via une intensification de l'altération des surfaces continentales. Enfin, les interactions entre climat et biosphère marine ont été envisagées selon 2 axes complémentaires. (i) De nouvelles contraintes ont été fournies pour comprendre la paléobiogéographie des communautés marines, par la publication de cartes de la circulation océanique de surface modélisée sous différentes pCO2 au cours de l' Ordovicien Inférieur, Moyen et Supérieur. (ii) Les relations entre variations climatiques et état redox de l'océan ont été étudiées avec un modèle d'océan récent bénéficiant d'un module de biogéochimie marine (MITgcm). Les simulations suggèrent des anoxies partielles (durant le Katien) ou globales (durant le Silurien inférieur) au cours de la transition Ordovicien–Silurien. Elles démontrent également que l'extinction de l' Ordovicien terminal ne serait pas liée à un évènement d'anoxie.

Abstract:

Résumé :

L'Ordovicien (485–444 Ma) est une période géologique caractérisée par la concomitance d'une glaciation majeure et de l'une des 5 plus grandes extinctions de masse de l'histoire de la Terre. Cette thèse avait pour objectif d'améliorer la compréhension de l'évolution du climat à cette époque à l'aide de la modélisation numérique, et de fournir une image cohérente de la glaciation. Nous avons d'abord démontré que la configuration continentale ordovicienne induit une dynamique océanique particulière, à l'origine d'une instabilité climatique permettant un refroidissement brutal du climat global sans variation importante de la concentration atmosphérique en CO2 (pCO2). Dans un deuxième temps, un modèle innovant couplé climat-calotte a permis de produire la première simulation de la mise en place de la glaciation supportée par les données géologiques, sous un scénario cohérent de baisse de la pCO2. Les résultats indiquent que les premières glaces continentales se seraient mises en place dès l'Ordovicien Moyen (465 Ma), quelque 20 millions d'années plus tôt qu'initialement envisagé. Dans ce scénario, le franchissement de l'instabilité climatique ordovicienne marque la mise en place du maximum glaciaire au cours de l'Ordovicien terminal Hirnantien (445–444 Ma). Des expériences réalisées avec un modèle de végétation primitive montrent que le développement des plantes non-vasculaires a pu constituer le mécanisme à l'origine de la chute de la pCO2, via une intensification de l'altération des surfaces continentales. Enfin, les interactions entre climat et biosphère marine ont été envisagées selon 2 axes

complémentaires. (i) De nouvelles contraintes ont été fournies pour comprendre la paléobiogéographie des communautés marines, par la publication de cartes de la circulation océanique de surface modélisée sous différentes pCO2 au cours de l' Ordovicien Inférieur, Moyen et Supérieur. (ii) Les relations entre variations climatiques et état redox de l'océan ont été étudiées avec un modèle d'océan récent bénéficiant d'un module de biogéochimie marine (MITgcm). Les simulations suggèrent des anoxies partielles (durant le Katien) ou globales (durant le Silurien inférieur) au cours de la transition Ordovicien–Silurien. Elles démontrent également que l'extinction de l' Ordovicien terminal ne serait pas liée à un évènement d'anoxie.

Abstract:

The Ordovician (485–444 Ma) is a geological period characterized by the concomitance of a major glaciation and one of the "Big Five" mass extinction events that punctuated the Earth's history. This dissertation aimed at developing a better understanding of the climatic evolution at that time through numerical modeling, in order to provide a consistent picture of the glaciation. First, it was shown that the Ordovician continental configuration leads to a particular ocean dynamics, which induces in turn the development of a climatic instability that allows global climate to cool suddenly in response to subtle changes in the atmospheric partial pressure of CO2 (pCO2). Secondly, an innovative climate-ice sheet coupled model produced the first simulation of the glaciation that is supported by geological data, in the context of a decrease in pCO2. Results show that glacial onset may have occurred as early as the Mid Ordovician (465 Ma), i.e., some 20 million years earlier than thought initially. In this scenario, the climatic instability is reached during the latest Ordovician and accounts for the onset of the Hirnantian glacial maximum (445–444 Ma). Experiments conducted with a non-vascular vegetation model reveal that the origination and expansion of the first land plants significantly intensified continental weathering during the Ordovician and potentially drove the drop in atmospheric CO2. Finally, the interactions between climate and the marine biosphere were investigated based on 2 complementary axes. (i) News constraints on the paleobiogeography of marine living communities were brought through the publication of maps showing the ocean surface circulation modeled at various pCO2 levels during the Early, Middle and Late Ordovician. (ii) The relationships between climatic variations and the redox state of the ocean were studied using a recent ocean model with biogeochemical capabilities (MITgcm). The simulations suggest partial and global oceanic anoxic events during the Katian and the early Silurian respectively. They also show that anoxia is probably not responsible for the latest Ordovician mass extinction event.

INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

M. Yannick DONNADIEU, Chargé de recherche, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines - Laboratoire LSCE - Directeur de these
M. Guillaume LE HIR, Maître de conférences, Université Paris 7 Descartes - Examinateur
M. Thomas SERVAIS, Directeur de recherche, Université de Lille - Rapporteur
M. Yves GODDERIS, Directeur de recherche, Géosciences Environnement Toulouse - Rapporteur
M. Christopher J. POULSEN, Professeur des universités, University of Michigan - Examinateur
M. François GUILLOCHEAU, Professeur des universités, Université de Rennes 1- Examinateur
M. Philippe BOUSQUET, Professeur des universités, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines - Laboratoire LSCE - Examinateur

Contact : DREDVAL - Service SFED : theses@uvsq.fr