

Modélisation de la végétation boréale et de sa dynamique

dans le modèle de surface continentale ORCHIDEE

Jury composé de :

Mr. Philippe Choler

Directeur de Recherche au CNRS, LECA (Examinateur)

Mme Delire Christine

Chargée de recherche au CNRS, CNRM (Examinatrice)

Mr. Jed Kaplan

Professeur, IESD Lausanne (Rapporteur)

Mr. Joël Guiot

Directeur de Recherche au CNRS, CEREGE (Rapporteur)

Mr. Gerhard Krinner

Directeur de Recherche au CNRS, LGGE (Directeur de thèse)

Mr. Philippe Peylin

Directeur de Recherche au CNRS, LSCE (Directeur de thèse)

Résumé

L'évolution du climat sur les prochaines dizaines voire centaines d'années pose de nombreuses interrogations, du fait de l'impact de l'homme. En effet, les émissions de gaz à effet de serre depuis le début de l'ère industrielle entraînent une augmentation des températures. Celle-ci est susceptible d'affecter les écosystèmes terrestres, notamment dans les régions boréales où les augmentations de température observées et projetées sont plus importantes que dans les moyennes latitudes. Une évolution de ces écosystèmes peut entraîner des rétroactions sur le climat. Ainsi le phénomène actuel observé de verdissement des régions boréales (ou « Arctic greening ») peut par exemple augmenter ce réchauffement via une diminution de l'albédo du fait de l'augmentation du couvert végétal. Afin de répondre à ces interrogations, des modèles climatiques ont été développés, intégrant des modèles de surface continentale représentant les flux de matière et d'énergie. Le travail effectué dans cette thèse a été mené à partir de l'un d'eux, le modèle de surface continentale ORCHIDEE, qui comprend une description succincte de la végétation boréale. L'objectif de cette thèse était donc l'implémentation puis la modélisation de la végétation boréale.

Afin de décrire la végétation présente au niveau des hautes latitudes, i.e. les toundras et les steppes, de nouveaux types de végétation (PFTs) ont été intégrés au modèle à partir des PFTs déjà présents. Tout d'abord, les plantes non vasculaires (NVPs) ont été introduites pour représenter les lichens et les bryophytes présents dans les toundras désertiques et les tourbières, ensuite les buissons pour représenter une strate intermédiaire entre les arbres et les herbacées dans les toundras, et enfin des herbacées C3 boréales pour distinguer la végétation considérée dans les steppes boréales et les prairies tempérées. La description de cette végétation boréale s'est accompagnée de l'intégration de nouveaux processus caractéristiques, allant de l'implémentation d'interactions nouvelles telles que la protection des buissons par la neige en hiver, au simple choix de nouveaux paramètres du PFT avec par exemple la diminution de la capacité photosynthétique des herbacées C3 boréales par rapport aux C3 tempérées, en passant par la modification de processus déjà présents dans le modèle comme la conductance stomatique des NVPs. D'autres processus en lien avec la végétation ont également été mis à jour ou corrigés. Enfin, pour modéliser la dynamique de la végétation boréale, les nouveaux PFTs ont été intégrés à la description initialement présente dans le modèle.

Ces modifications ont permis de modéliser la végétation boréale et ses impacts sur les autres variables du système (flux de matière ou d'énergie), soit avec une végétation prescrite (simulations de la période récente), soit avec une végétation dynamique (simulations présentes et futures, à partir des scénarios RCPs 4.5 et 8.5). Les simulations effectuées avec la végétation prescrite montrent que l'on représente mieux le comportement de la végétation avec les nouveaux PFTs. Avec les PFTs originaux la productivité et la biomasse étaient surestimées dans les régions boréales et entraînaient une sous-estimation de l'albédo et une surestimation de la transpiration. Les simulations avec une végétation dynamique ont démontré la capacité du modèle à représenter avec la nouvelle végétation boréale les biomes actuels ainsi que l'« Arctic greening ». Par contre, l'embuissonnement observé dans plusieurs études n'a pas été reproduit. De même, l'impact des nouveaux PFTs sur les autres sorties du modèle est important, avec par exemple une diminution de la productivité ou de l'albédo en hiver par rapport à la végétation originale. Ainsi, globalement l'introduction des PFTs boréaux s'est traduite par une meilleure description des écosystèmes arctiques et des échanges d'énergie et de matière avec l'atmosphère. Par contre, la protection du pergélisol par les NVPs n'a pas été aussi importante qu'attendu et a été compensée par une augmentation de l'humidité du sol (due aux buissons et herbacées boréales).

L'introduction de la nouvelle végétation boréale dans le modèle ORCHIDEE semble donc pertinente et met en évidence l'importance de la représentation de ces écosystèmes. Ce travail ouvre donc des perspectives pour améliorer les simulations climatiques, tant futures que passées. La prochaine étape est de modéliser la végétation depuis l'Holocène jusque dans le futur afin de simuler la quantité de carbone contenu aujourd'hui dans le pergélisol, et projeter le devenir de ces stocks dans le contexte de réchauffement climatique et de fonte du pergélisol.

Abstract

Climate evolution over the next ten to hundred years involves many questions, linked to the impact of man. Indeed, greenhouse gases emissions since the beginning of the industrial era lead to an increase in temperature. The latter can affect terrestrial ecosystems, particularly in boreal regions where observed and projected temperature increase is larger than in mid-latitudes. Evolution of these ecosystems can trigger climate feedbacks. For example, the currently observed « Arctic greening » phenomenon could enhance the warming via a decrease in albedo due to the increase in vegetation cover. In order to address these questions, climate models were developed, including continental surface models taking into account the fluxes of mass and energy. In this thesis, such a model was used, the continental surface scheme ORCHIDEE, which includes a succinct description of boreal vegetation. The aim of this work was thus the implementation and the modeling of boreal vegetation.

In order to describe high-latitude vegetation, i.e. toundras and steppes, new plant functional types (PFTs) were integrated into the model based on existing PFTs. First, non-vascular plants (NVPs) were integrated to represent lichens and bryophytes found in desert toundras and peatlands, then shrubs to represent an intermediate stratum between trees and grasses in toundras, and finally boreal C3 grasses to distinguish vegetation found in boreal steppes and temperate grasslands. The description of this boreal vegetation was accompanied by the integration of new characteristic processes, from the implementation of new interactions such as the protection of shrubs by snow in winter, to the simple choice of new PFT parameters such as the lower photosynthetic capacity of boreal C3 grasses compared to temperate C3 grasses, through the modification of existing processes such as the stomatal conductance of NVPs. Other processes linked to vegetation were also updated or corrected. Finally, to model the dynamics of boreal vegetation, new PFTs were integrated into the initial description in the model.

Those changes enabled the modeling of boreal vegetation and its impact on other variables (mass or energy fluxes), either using a prescribed vegetation (simulations on the recent period), or using a dynamical vegetation (recent and future simulations using RCPs 4.5 and 8.5). Simulations using the prescribed vegetation indicated that vegetation behaviour is better represented with the new PFTs. With original PFTs, productivity and biomass were overestimated in boreal regions, and lead to an underestimation of albedo and an overestimation of transpiration. Simulations using a dynamical vegetation demonstrated the ability of the model, using the new boreal vegetation, to represent current-day biomes as well as « Arctic greening ». However, the shrubification observed in several studies was not reproduced. Similarly, the impact of new PFTs on other model outputs is important, with for example a decrease in productivity or albedo in winter compared to the original vegetation. Thus, the introduction of boreal PFTs generally resulted in a better description of Arctic ecosystems and of the exchanges of energy and mass with the atmosphere. On the other hand, the protection of permafrost by NVPs was not as substantial as expected and was compensated by an increase in soil humidity (due to shrubs and boreal grasses).

The introduction of the new boreal vegetation in the ORCHIDEE model thus seems relevant, and highlights the importance of representing these ecosystems. This work opens up new perspectives to improve future and past climate simulations. The next step consists in modeling vegetation since the Holocene into the future in order to simulate the current amounts of carbone in the permafrost, and to project the outcome of these stocks in the context of climate change and permafrost melt.