

**ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT  
D'ILE DE France N° 129**

**Proposition de sujet de thèse pour la rentrée 2020**

Nom du Laboratoire d'accueil : LSCE      N° UMR : 8212  
Nom du Directeur du laboratoire : Philippe Bousquet  
Adresse complète du laboratoire : Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement  
LSCE/IPSL, UMR CEA-CNRS-UVSQ 8212  
CEA Saclay, Orme des merisiers, Bât. 714  
91191 Gif-sur-Yvette Cedex

Nom de l'Equipe d'accueil et adresse si différente de celle du laboratoire : CLIM

Nom du Directeur de thèse **HDR** : Didier Roche  
Téléphone : 01 69 08 96 52  
Mail : didier.roche@lsce.ipsl.fr

Nom du co-directeur de thèse **HDR** :  
Téléphone :  
Mail :

**OU**

Nom du co-encadrant **non HDR** : Christophe Dumas  
Téléphone : 01 69 08 65 81  
Mail : christophe.dumas@lsce.ipsl.fr

• **Titre de la thèse en Français : Instabilités de la calotte Antarctique au cours du dernier interglaciaire**

• **Titre de la thèse en Anglais : Antarctic ice-sheet instabilities during the last Interglacial period**

• **Résumé Sujet en Français (1 page maximum) :**

La perte de masse de glace des calottes de glace du Groenland et de l'Antarctique a été multipliée par six depuis les années 80. Ainsi, à l'avenir, l'élévation du niveau de la mer sera largement dominée par la contribution de ces calottes, qui représentent l'équivalent de 65 mètres de niveau marin si elles fondaient en totalité. Toutefois, le rythme et l'amplitude du retrait des calottes de glace à l'échelle du siècle sont encore largement incertains.

Le dernier exercice d'inter-comparaison (CMIP6-ISMIP) a montré une large incertitude sur la contribution de la calotte Antarctique à l'élévation du niveau de la mer d'ici 2100 (de -3 à 43 cm). Si de telles incertitudes subsistent, c'est principalement pour trois raisons : i- les calottes de glace présentent diverses échelles de temps caractéristiques : elles sont des composantes lentes du système climatique même si les paléo-enregistrements montrent qu'elles peuvent être sujettes à des effondrements rapides et de grande échelle ; ii- difficiles d'accès et présentant des conditions extrêmes, les données de terrain y sont rares, ce qui laisse de grandes inconnues, notamment en ce qui concerne les conditions sous-glaciaires et les interactions avec l'océan en marge de la calotte ; iii- enfin, les calottes sont au centre de multiples boucles de rétroaction car elles interagissent avec diverses composantes du système terrestre (atmosphère, océan et terre solide). C'est pour cela qu'il reste très difficile de représenter explicitement la dynamique des calottes de glace dans les modèles numériques.

L'objectif de cette thèse est de s'attaquer à cette problématique en étudiant la stabilité de la calotte de glace Antarctique sous des climats chauds. L'Antarctique concentre toutes les difficultés mentionnées

précédemment et pourrait être affectée par des instabilités mécaniques de grande échelle, entraînant une contribution de plus d'un mètre d'ici la fin du siècle. Si la possibilité d'un tel scénario est débattue, nous visons ici à quantifier la stabilité de la calotte Antarctique sous des climats plus chauds qu'aujourd'hui, en particulier au cours de la dernière période interglaciaire (~130-118 kaBP). Lors de cette période, le niveau marin a atteint un pic de 6 à 9 mètres au-dessus du niveau actuel, avec une contribution modérée de la calotte du Groenland de 1 à 3 mètres. On s'attend donc à ce que l'Antarctique ait largement contribué à l'élévation du niveau de la mer de l'époque, même si cela doit être quantifié à l'aide de modèles numériques. Au cours de cette thèse, nous étudierons cette question à l'aide de modèles numériques couvrant différents niveaux de complexités.

D'une part, nous utiliserons le modèle de calotte de glace GRISLI qui est couplé au modèle de climat de complexité intermédiaire iLOVECLIM et permet des simulations multi-millénaires. D'autre part, nous utiliserons le modèle de calotte ElmerIce ainsi que le modèle climatique de l'IPSL. Ces modèles ont une résolution spatiale beaucoup plus élevée et une physique plus sophistiquée, mais ne permettent de réaliser que des simulations plus courtes. Les modèles de différentes complexités tireront profit les uns des autres : les modèles plus simples seront utilisés pour fournir le contexte climatique grande échelle tandis que des paramétrisations seront construites sur la base de la réponse des modèles plus sophistiqués. Cette approche multi-modèles permettra d'étudier les événements abrupts de la calotte de glace (<100 ans) en tenant compte du changement climatique pluri-millénaires. Avec ces modèles, nous travaillerons sur les deux principales sources d'incertitudes présentes dans les modèles numériques : i- la fonte basale sous les plates-formes de glace flottante liée au transport de chaleur océanique ; ii- les processus sous-glaciaires qui affectent le frottement à l'interface continent-glace. Les résultats des modèles seront confrontés aux données paléos afin d'identifier les processus responsables de l'effondrement grande-échelle de la calotte Antarctique au cours du dernier interglaciaire.

Grâce à ce travail, on pourra quantifier le taux et l'amplitude des changements futurs du niveau de la mer en accord avec les données paléos. Cette thèse favorisera aussi le développement du couplage des modèles de calotte de glace avec les modèles de climat.

### • **Résumé Sujet en Anglais (1 page maximum) :**

Ice mass loss from the Greenland and Antarctic ice sheets has accelerated over the last decades with a six-fold increase from the eighties. In the future, global sea level rise will be largely dominated by the contribution from the ice sheets, that represent the equivalent of 65 metres of sea level rise if melted completely. However, the rate and the amplitude of the ice sheet retreat at the century scale is still largely uncertain.

The most recent intercomparison exercise (CMIP6-ISMIP), gathering the whole glaciological community, has shown a wide spread for the projected ice sheet contribution to global sea level rise by 2100 (ranging from -3 to 43 cm). If large uncertainties remain, this comes mostly for three reasons: i- ice sheets show various characteristic timescales: they are a slow components of the climate system even though palaeo-records show that they can be prone to episodic large-scale collapse; ii- because of their remote locations in harsh environment, field data are scarce, letting us with considerable unknown most notably related to subglacial environments and to oceanic conditions in the vicinity of the ice margin; iii- ice sheets are in the centre of multiple feedback loops as they interact with various components of the Earth system (atmosphere, ocean and solid Earth). These reasons leave us with a tremendous difficulty to represent explicitly ice sheet dynamics in numerical models.

The aim of this thesis is to tackle this problem by investigating the stability of the Antarctic ice sheet under warmer climates. The Antarctic ice sheet concentrates all the previously mentioned difficulties and could be affected by large-scale mechanical instabilities at the ocean – ice interface leading to a contribution of more than 1 metre by the end of the century for this sole ice sheet. While the

plausibility of such scenario is questioned, we aim here at quantifying the stability of the Antarctic ice sheet under warmer climates than today, and in particular during the last interglacial period (~130-118 kaBP). During this period, global sea level peaked at 6 to 9 metres above present-day level, with a moderate contribution from the Greenland ice sheet of 1 to 3 metres. It is thus expected that the Antarctic ice sheet largely contributed to the global sea level rise at the time even though this has to be quantified with numerical models. During this thesis, we will revisit the question of the Antarctic ice sheet stability during the last interglacial period using state-of-the-art numerical models.

In the course of the Phd we will use various numerical models spanning a range of complexities. In the one hand, we will first use the ice sheet model GRISLI. This model is coupled to the climate model of intermediate complexity iLOVECLIM and allows for multi-millennial simulations. On the other hand, we will also make use of the ice sheet model ElmerIce and the IPSL climate model. These models have a much higher spatial resolution and more sophisticated physics but allow only for shorter simulations. The models of differing complexities will benefit from each other: simpler models will be used to provide the large scale climatic context while parametrisations will be built based on the response of sophisticated models to external perturbations. This multi-model approach will allow to study abrupt ice sheet events (<100 years) considering the multi-millennial climate change. With these models we will work on the two main sources of uncertainties, poorly represented in numerical models: i- sub-shelf basal melting related to oceanic heat transport; ii- sub-glacial processes that affect friction at the continent-ice interface. Model results will be compared with palaeo-data in order to identify the processes responsible for large-scale ice sheet collapse during the last interglacial.

Overall, this work will provide a quantification of the rate and amplitude of future sea level change in agreement with palaeo-records. This Phd will foster the research on the coupling of ice sheet models to climate models.

• **Type de financement autre que ED 129, précisez si envisageable ou acquis (CNES, CEA, ADEME etc...) :**

• **Encadrement :**

Didier Roche est chercheur en climat. Responsable du développement du modèle de climat de complexité intermédiaire iLOVECLIM.

Christophe Dumas est responsable du modèle de calotte polaire GRISLI.

Collaborations :

- Aurélien Quiquet

Aurélien Quiquet est chercheur en glaciologie et interactions climat – calottes polaires. Avec Christophe Dumas, il est principal développeur du modèle GRISLI. Il est également responsable du couplage climat – calottes polaires dans le modèle de climat de complexité intermédiaire iLOVECLIM. Il a également beaucoup travaillé sur le dernier interglaciaire et a ainsi fourni des estimations de la contribution de la fonte du Groenland à la hausse du niveau marin, discuté dans le dernier rapport de l'IPCC. Il participera à l'encadrement de la thèse pour son expertise sur la période étudiée et pour son rôle majeur sur le modèle GRISLI.

- Nicolas Jourdain

Nicolas Jourdain est chercheur à l'IGE. Il est en charge du couplage entre le modèle d'océan NEMO et le modèle de calotte polaire Elmer. Il a récemment développé une paramétrisation de la fonte sous les langues de glace flottante qui a été implémentée dans GRISLI. Au cours de la thèse, en collaboration avec lui on cherchera à améliorer la représentation de ce processus clef dans GRISLI.

- Julie Deshayes

Julie Deshayes est chercheur au LOCEAN, responsable de l'équipe NEMO R&D. Elle s'intéresse à la circulation océanique sous les langues de glace flottante et leur interaction avec l'océan global. On profitera de son expertise afin de mieux comprendre l'impact de la dynamique océanique dans les cavités sur la circulation océanique grande échelle.

- Pascale Braconnot

Pascale Braconnot est chercheur au LSCE. Elle a notamment réalisé les simulations du dernier interglaciaire dans le cadre CMIP6-PMIP avec le modèle couplé de l'IPSL. Experte reconnue sur la période, elle sera consultée pour l'analyse des simulations climatiques et pour définir les nouvelles expériences à réaliser.

- Masa Kageyama et Marie Sicard

Masa Kageyama est chercheur au LSCE, responsable du thème « modélisation » au laboratoire. Elle réalise les expériences du dernier maximum glaciaire avec le modèle couplé de l'IPSL et a une grande expertise du modèle couplé. Elle dirige actuellement la thèse de Marie Sicard qui porte sur l'étude du climat des hautes latitudes Nord au cours du dernier interglaciaire et en particulier des processus de surface (fonte et accumulation) au Groenland.

**. Liste des autres doctorants que vous encadrez ou co-encadrez au 1<sup>er</sup> janvier 2020**

(Nom, Université d'inscription, type de financement, date de soutenance envisagée)

LHARDY Fanny, UVSQ, EDSP, 30 septembre 2021