

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

Proposition de sujet de thèse pour la rentrée 2020

Laboratoire d'accueil : Laboratoire d'Océanographie et du Climat (LOCEAN) (UMR 7159)
Directeur : Jean-Benoît Charrassin
Adresse : IPSL Boîte 100, 4 Place Jussieu. 75252 Paris CEDEX 09.

Nom de l'équipe d'accueil : NEMO R&D

Nom du Directeur de thèse HDR : Vancoppenolle Martin
Nom du co-directeur de thèse HDR : Madec Gurvan

Téléphone: +33 6 95 57 77 31

Mail: martin.vancoppenolle@locean-ipsl.upmc.fr, gurvan.madec@locean-ipsl.upmc.fr

• **Titre de la thèse en Français :** *Réponse saisonnière de la banquise à l'augmentation anthropique de CO₂ atmosphérique.*

• **Titre de la thèse en Anglais :** *Seasonal response of sea ice to anthropogenic atmospheric CO₂ increase.*

• **Résumé du sujet**

La banquise a subi de nombreux changements suite à l'augmentation du CO₂, devenant un des symboles de l'impact de l'homme sur son environnement. L'Océan Boréal a perdu environ 50% de son couvert glaciaire estival en 40 ans. La situation autour du continent Antarctique est globalement stable, mais caractérisée par de fortes différences régionales, entre un retrait massif à l'ouest de la Péninsule Antarctique et une expansion au large des Mers de Weddell et de Ross. Un retrait notable de la banquise antarctique est observé depuis quelques années, sans être statistiquement significatif.

Si de plus amples réductions de l'étendue et du volume de la banquise font peu de doute et ce dans les deux hémisphères, l'évolution future de la saisonnalité du couvert de glace et sa dépendance au forçage anthropique restent à mieux contraindre. Or la saisonnalité du couvert glaciaire est d'une importance fondamentale pour les écosystèmes marins polaires et les activités humaines.

La relation entre le couvert de banquise et de la durée d'englacement n'est pas linéaire à cause de rétroactions pas toutes bien identifiées. Deux points semblent clairs, les tendances sur l'étendue de banquise Arctique sont plus grandes l'été que l'hiver, ce qui est attribué à des rétroactions sur le volume de glace qui sont positives l'été et négatives l'hiver. De plus, la période d'eau libre a augmenté d'une dizaine de jours par décennie (!) en parts égales suite au déglacement plus précoce et à une prise en glace plus tardive.

Les modèles CMIP5 suggèrent la poursuite de l'augmentation de la saison d'eau libre en Arctique au cours de ce siècle en réponse au réchauffement. Par ailleurs les modèles prévoient un décalage de la saison d'eau libre vers l'automne. Une étude préliminaire (Lebrun et al., 2019) semble indiquer que ce phénomène reflète essentiellement une réponse thermodynamique. Néanmoins, l'absence de diagnostics suffisants dans CMIP5 n'a pas permis de valider entièrement cette hypothèse. Par ailleurs, les variations à court terme de la saisonnalité de la banquise semblent en contradiction avec les variations à long terme, suggérant un rôle important pour les phénomènes de transport. Enfin, l'Antarctique n'a pas été traité dans cette étude.

Dans cette thèse, on se propose de progresser en traitant trois questions. **1.** Quels sont les mécanismes à la base des changements de saisonnalité observés en Arctique et en Antarctique au cours des 40 dernières années ? Quel rôle pour la réponse au forçage anthropique, les rétroactions thermodynamiques, le transport

de glace, et le transport de chaleur par l'atmosphère et l'océan ? **2.** Quelles sont les causes de la contradiction apparente entre l'effet dominant du retard d'enlèvement simulé à long terme et l'emprise majeure de l'avancée du déglacement sur la variabilité inter-annuelle ? **3.** Quel impact sur notre connaissance du futur de la saisonnalité de la banquise dans les deux hémisphères ?

La réponse à ces questions repose en grande partie dans un diagnostic précis du bilan d'énergie des océans polaires et de son évolution saisonnière et à long terme. Donc on évaluera ce bilan d'énergie en tout ou en partie, et on réalisera un diagnostic des changements du couvert saisonnier de la banquise, à partir de trois sources d'information : **(i)** les données satellites de couverture de glace, de température de surface de l'océan et de la glace pour caractériser au mieux la réalité des changements de saisonnalité de la banquise ; **(ii)** les données hydrographiques obtenue par des capteurs autonomes, à bord de flotteurs dérivants ou d'animaux instrumentés **(iii)** des simulations du climat réalisées dans le cadre de CMIP6, pour comprendre au mieux les mécanismes des changements. Notons que pour séparer l'influence des différentes composantes (thermodynamique, dynamique, océan, ...) on fera tourner des simulations où certaines des composantes du système glace-océan seront désactivées.

Ce sujet conviendra particulièrement aux étudiants férus d'analyse physique appliquée à l'environnement marin polaire. Il bénéficiera du réseau et de financements associés à plusieurs programmes de recherche en cours (IMMERSE, IS-ENES3), de l'expertise du centre de modélisation de l'IPSL (IPSL-CMC), enfin de la présence d'experts sur la dynamique de l'océan et de la banquise (J.-B. Sallée, C. Delavergne, C. Rousset).

• Summary of the subject

Sea ice has undergone many changes following the increase in CO₂, becoming a symbol of the impact of mankind on the environment. The Arctic Ocean has lost about 50% of its summer ice cover in 40 years. The situation around the Antarctic continent is generally stable, but characterized by strong regional differences, between a massive retreat West of the Antarctic Peninsula and an expansion off the Weddell and Ross Seas.

If further reduction in the extent and volume of pack ice are undoubted in both hemispheres, the future seasonality of the ice cover and its dependence on anthropogenic forcing remain to be better constrained. The seasonality of ice cover is of fundamental importance for polar marine ecosystems and human activities.

The relation between the ice cover and the ice-free period is not linear because of poorly identified feedbacks. Two points seem clear: trends in the extent of Arctic sea ice are greater in summer than in winter, attributed to feedbacks on ice volume that are positive in summer and negative in winter. In addition, the open water period increased by about 10 days per decade (!) in equal parts following earlier break-up and later freeze-up.

CMIP5 models suggest that the Arctic open water season will continue to increase in this century in response to warming. In addition, the models predict a shift into autumn of the open water season. A preliminary study (Lebrun et al., 2019) suggests that this phenomenon essentially reflects a thermodynamic response. Nevertheless, the lack of sufficient diagnostics in CMIP5 prevented to entirely validate this hypothesis. In addition, short-term variations in sea ice seasonality contradict long-term variations, suggesting an important role for transport phenomena. Finally, Antarctic sea ice was not treated in this study.

In this thesis, it is proposed to progress by addressing the following three questions: **1.** What are the mechanisms underlying changes in seasonality observed in the Arctic and Antarctic sea ice over the past 40 years? What role for the response to anthropogenic forcing, thermodynamic feedbacks, ice transport, and heat transport through the atmosphere and the ocean? **2.** What are the causes of the apparent contradiction between the dominant effect of the long-term simulated freeze-up delay and the major influence of breakup

progress on inter-annual variability? **3.** What impact on our knowledge of the future of the seasonality of pack ice in both hemispheres?

The answer to these questions lies largely in a precise diagnosis of the energy balance of the polar oceans and its seasonal and long-term evolution. Therefore, this energy balance will be evaluated in whole or in part, and a diagnosis of changes in the seasonal ice cover, based on two available sources of information: **(i)** satellite data for ice cover, surface temperature of the ocean and ice to best characterize the reality of changes; **(ii)** hydrographic data from autonomous floats and instrumented marine mammals **(iii)** climate simulations conducted as part of CMIP6, to better understand the mechanisms of change. Note that to separate the influence of the different components (thermodynamics, dynamics, ocean, ...) we will run simulations where some of the components of the ice-ocean system will be disabled.

This subject will be particularly suitable for students who are keen on physical analysis applied to the polar environment. It will benefit from the network and funding associated with several ongoing research programs (IMMERSE, IS-ENES3), the expertise of the IPSL Modelling Centre (IPSL-CMC), and the presence of experts on the dynamics of the ocean and pack ice (J.-B. Sallée, C. Delavergne, C. Rousset).

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

Aucun

• Encadrement :

. Liste des autres doctorants que vous encadrez ou co-encadrez au 1^{er} janvier 2020
(Nom, Université d'inscription, type de financement, date de soutenance envisagée)

Pas d'encadrement pour Martin Vancoppenolle. Gervan Madec encadre Antoine Nasser.