



Institut
Pierre
Simon
Laplace

Laboratoire de Météorologie Dynamique
Institut Pierre et Simon Laplace
UMR 8539 ENS/PSL-CNRS-École Polytechnique-SU



Bourse de doctorat en océanographie physique

Évaluation de l'évolution des vagues de chaleur marines conjointement au réchauffement de l'océan et aux variations induites sur sa stratification/structure verticale

Directeur de thèse: Prof. Sabrina Speich (sabrina.speich@lmd.ens.fr,
<https://www.lmd.ens.fr/speich/>)

Laboratoire de Météorologie Dynamique – IPSL
Ecole normale supérieure – PSL
45 rue d'Ulm
75231 Paris Cedex 05, France

Co-supervision:

Dr. Karina von Schuckmann (Mercator Ocean International, Toulouse:
karina.von.schuckmann@mercator-ocean.fr)

Domaine d'étude

Océanographie physique, interactions air-mer, réchauffement de la planète, changement climatique, événements extrêmes, vagues de chaleur marine

Description du sujet

Au cours des deux dernières décennies, la fréquence et l'intensité des phénomènes météorologiques extrêmes, tels que les cyclones tropicaux, les vagues de chaleur, les fortes précipitations et les incendies de forêt, ont considérablement augmenté. Il en va de même pour les phénomènes extrêmes dans les océans, notamment les vagues de chaleur marine. Ces phénomènes s'inscrivent dans une nouvelle tendance alarmante qui voit l'effet combiné de plusieurs événements extrêmes se produisant simultanément ou successivement, amplifiant l'impact collectif et posant des défis croissants aux infrastructures humaines et aux moyens de subsistance dans le monde entier.

Les événements extrêmes sont une combinaison de la circulation synoptique de l'atmosphère (météorologique) et de l'océan et de leurs liens avec les facteurs climatiques qui entraînent des événements à fort impact potentiel. Pour atténuer les effets des événements extrêmes et mieux s'y adapter, nous devons mieux comprendre la phénoménologie et l'évolution de ces événements extrêmes dans un climat changeant. Ces événements, et en particulier les événements marins extrêmes, pourraient être liés au réchauffement observé des océans.

En fait, les conditions météorologiques terrestres et le climat sont déterminés par la quantité et la répartition du rayonnement solaire incident sur notre planète. Pour maintenir l'équilibre climatique (statistique), le rayonnement quittant le système terrestre vers l'espace doit être égal au rayonnement solaire absorbé, bien que de nombreux phénomènes atmosphériques, océaniques et terrestres interagissent pour coupler ces flux. Le rayonnement solaire peut être diffusé, réfléchi ou absorbé par l'atmosphère et la surface terrestre, puis transformé en chaleur, en énergie latente, potentielle et cinétique, avant d'être réémis vers l'espace sous forme de rayonnement de grande longueur d'onde. Cette énergie peut être stockée, transportée et convertie, générant divers phénomènes météorologiques et océaniques. Aujourd'hui, cet équilibre énergétique est perturbé de manière sans précédent par les activités humaines, l'océan jouant un rôle central dans cette perturbation. La quantité d'énergie qui entre dans le système climatique est supérieure à celle qui

en sort. Ce déséquilibre est défini comme le déséquilibre énergétique terrestre (EET). En conséquence, la chaleur s'accumule dans le climat de la Terre. La majeure partie de ce surplus de chaleur est stockée dans les océans (environ 90 %) et est mesurée en termes de contenu thermique des océans. Les derniers résultats indiquent que le réchauffement climatique s'accélère (Minière et al., 2023 ; Storto et al., 2024).

Ce réchauffement, qui pourrait s'accélérer, modifie la structure verticale de l'océan en induisant une stratification plus forte des couches supérieures et pourrait favoriser la genèse, l'intensification et la durée des vagues de chaleur marine, ainsi que des changements dans les moteurs de la circulation océanique atmosphérique (Oliver, 2019). En effet, la température de surface des océans a augmenté, avec des périodes extrêmes plus fréquentes au cours des deux dernières décennies. Ces périodes sont connues sous le nom de vagues de chaleur marine (Frölicher et al., 2018). Nous ne connaissons pas encore l'étendue et la profondeur de ces événements, ni leur lien avec l'atmosphère en termes de moteurs et d'impacts. Néanmoins, il a été démontré que ces phénomènes de réchauffement extrêmes ont des répercussions importantes sur les écosystèmes marins (Smale et al., 2019 ; Smith et al., 2023), ainsi que sur le bien-être humain et les économies régionales (Holbrook et al., 2022).

Dans ce projet de doctorat, nous aborderons cette question en nous concentrant sur l'océan Atlantique qui a été identifié comme l'une des principales régions de réchauffement des océans (par exemple, Cheng et al., 2023 ; Li et al., 2023) et où l'on a observé que les changements et les événements extrêmes augmentent en fréquence et en intensité.

Le candidat travaillera dans le cadre du projet européen Horizon2030 ObsSea4Clim (Ocean observations and indicators for climate and assessments : <https://obssea4clim.eu>). L'un des principaux objectifs de ObsSea4Clim est d'évaluer les MHWs et de fournir ainsi un meilleur cadre pour l'observation et la prévision d'indicateurs exploitables pour le développement durable et l'adaptation au changement climatique.

Les objectifs sont les suivants

- (i) Analyser les zones critiques d'accumulation de chaleur régionale et les changements de stratification, ainsi que les zones touchées par les MHWs dans le cadre du réchauffement climatique.
- (ii) Identifier les zones les plus critiques (par exemple, la structure de la circulation océanique, les modes de variabilité climatique interne, la circulation atmosphérique synoptique) comment la chaleur est redistribuée dans les couches profondes de l'océan, et comment cela a changé la stratification verticale de l'océan.
- (iii) Comprendre le développement régional des processus MHWs et déchiffrer comment ils ont changé avec le réchauffement et la stratification de l'océan ainsi qu'avec la circulation atmosphérique synoptique et la variabilité climatique (aux échelles interannuelles et interdécennales) .

Les questions à traiter sont les suivantes

- (a) Quels sont les éléments du système océanique régional qui changent ?
- (b) Existe-t-il des processus océaniques clés qui peuvent expliquer le comportement observé ?
- (c) Quels sont les rôles respectifs du réchauffement de l'océan et de la circulation atmosphérique et leurs interactions dans un climat qui se réchauffe dans les

changements observés dans les MHW ? Viceversa, est-ce que les MHWs influencent l'accumulation de chaleur par l'océan ?

(d) Quel est le rôle des MHWs dans l'overshooting du réchauffement global du seuil de 1.5°C ?

(e) Les modèles climatiques actuels représentent-ils correctement ces phénomènes ? Que nous apprennent les grands ensembles de simulations climatiques sur les processus du point (b) ?

Programme de travail indicatif

- 1) Caractérisation rigoureuse des vagues de chaleur marine et analyse des données historiques provenant d'observations ou de réanalyses. Nous nous concentrerons sur l'Atlantique.
- 2) Étude composite des conditions atmosphériques et des extrêmes correspondant aux périodes de vagues de chaleur marine. En principe, les phénomènes considérés seront les vagues de chaleur, les précipitations intenses et les tempêtes sur les régions maritimes et l'Europe.
- 3) Analyse des résultats des modèles CMIP6 en utilisant les méthodes définies aux points (1) et (2).

A la fin de la thèse, sur la base des résultats obtenus, nous pourrions concevoir des expériences de sensibilité en utilisant le modèle du climat global IPSL.

Emploi

- Forme d'emploi : Emploi à durée déterminée, 3 ans.
- Étendue : 100%
- Lieu de travail : Laboratoire de Météorologie Dynamique – IPSL
Ecole normale supérieure – PSL
45 rue d'Ulm
75231 Paris Cedex 05, France
- Premier jour d'emploi : Après accord (approximativement le 1er octobre 2024)

L'environnement de travail

L'**École normale supérieure** (ENS: <https://www.ens.psl.eu>) accueille 800 chercheurs et enseignants-chercheurs, 300 post-doctorants et 600 doctorants. Elle accueille 32 unités de recherche en sciences humaines et en sciences, couvrant un champ scientifique très large au plus haut niveau international. Au sein de l'Université Paris Sciences et Lettres, l'École normale supérieure promeut une recherche fondamentale qui repousse les frontières de la connaissance tout en facilitant et en encourageant son exploitation. Sa recherche est structurée de manière dynamique afin d'anticiper et de soutenir les derniers développements dans les domaines scientifiques les plus avancés et de promouvoir les initiatives multidisciplinaires. Une recherche solide et des programmes d'études attrayants attirent des chercheurs et des étudiants du monde entier. Avec de nouvelles connaissances et de nouvelles perspectives, l'École normale supérieure contribue à un avenir meilleur.

Le **Laboratoire de Météorologie Dynamique** (LMD: <https://www.lmd.ipsl.fr>) étudie le climat, les atmosphères planétaires et l'océan en combinant approches théoriques, développements instrumentaux pour l'observation et modélisation numérique. Il est à la pointe de la recherche sur les processus dynamiques, physiques et biogéochimiques permettant l'étude de l'évolution et la prévision des phénomènes océaniques, météorologiques et climatiques. Le LMD se positionne clairement à la fois sur la recherche fondamentale sur les processus, la dynamique et

la biogéochimie de l'océan, de l'atmosphère et du climat, et sur la recherche finalisée, notamment sur les questions relatives à l'anticipation du réchauffement climatique et de ses conséquences.

Le LMD a une largeur interdisciplinaire qui comprend la biologie marine, la chimie marine, l'océanographie, et des experts de la dynamique et de la physique de l'atmosphère. Nos scientifiques et nos étudiants jouent souvent un rôle de premier plan dans des projets internationaux portant sur l'Antarctique, l'Arctique, les grandes mers du monde, l'atmosphère et le climat.

Contact

Pour toute question concernant le poste, veuillez contacter le professeur Sabrina Speich à l'adresse suivante : sabrina.speich@lmd.ens.fr

Candidature

Soumettez votre candidature par courriel à sabrina.speich@lmd.ens.fr.

La candidature doit être envoyée en français ou en anglais et contenir les éléments suivants

- Une lettre de motivation d'une page décrivant vos ambitions pour le poste décrit et votre pertinence par rapport à la description du poste doit être incluse.
- ID
- CV
- Copie du certificat d'examen

Les candidatures doivent être reçues au plus tard le : 25 juillet 2024

Informations pour les candidats internationaux

Choisir une carrière dans une autre ville Française que celle de résidence usuelle ou dans un autre pays étranger est un grand pas. Ainsi, pour vous donner une idée générale de ce que nous et Paris avons à offrir en termes d'avantages et de vie en général pour vous et votre famille/conjoint/partenaire, veuillez consulter le site suivant :

<https://www.ens.psl.eu/en/campus-life-paris>

L'ENS travaille activement à la mise en place d'un environnement de travail égalitaire et valorise les qualités que la diversité apporte à ses activités.

Les salaires sont fixés par l'ENS dans le cadre national des contrats doctoraux.

Dans le cadre de ce recrutement, nous avons déjà décidé des canaux de recrutement à utiliser. Nous refusons donc tout contact avec les vendeurs, les sociétés de recrutement et les agences de placement.

Doctoral Fellowship In Physical Oceanography

Assessing the evolution of marine heat waves in conjunction with ocean warming and induced variations in ocean stratification/vertical structure

PhD supervisor: Prof. Sabrina Speich (sabrina.speich@lmd.ens.fr, <https://www.lmd.ens.fr/speich/>)

Laboratoire de Météorologie Dynamique – IPSL
Ecole normale supérieure – PSL
45 rue d’Ulm
75231 Paris Cedex 05, France

Co-supervisors:

Dr. Karina von Schuckmann (Mercator Ocean International, Toulouse: karina.von.schuckmann@mercator-ocean.fr)

Subject area

Physical oceanography, air-sea interactions, global warming, climate change, extreme events, marine heat waves

Subject description

The last two decades have seen a significant increase in the frequency and intensity of extreme weather events, including tropical cyclones, heat waves, heavy precipitation, and wildfires. The same is true for extreme events in the ocean, notably marine heat waves. These are part of a new and alarming trend in which we see the compounding effect of multiple extreme events occurring simultaneously or in succession, amplifying the collective impact and posing increasing challenges to human infrastructure and livelihoods around the world.

Extreme events and their linkages are a combination of synoptic atmospheric (weather) and ocean circulation and their linkage to climate drivers that result in potentially high-impact events. To mitigate and better adapt to compound extreme events, we need to better understand the phenomenology and evolution of these extremes in a changing climate. These events, and in particular, marine extreme events might be related to the observed ocean warming. In fact, terrestrial weather patterns and climate are determined by the amount and distribution of solar radiation incident on our planet.

To maintain a climate (statistical) equilibrium, the radiation leaving the Earth system towards space must equal the solar radiation absorbed, although numerous atmospheric, oceanic and terrestrial phenomena interact to couple these fluxes. Solar radiation can be diffused, reflected or absorbed by the atmosphere and the earth's surface, then transformed into heat, latent, potential and kinetic energy, before being re-emitted to space in the form of long-wave radiation. This energy can be stored, transported and converted, generating various meteorological and oceanic phenomena. Today, this energy balance is being perturbed in unprecedented ways by human activities, with the ocean playing a central role in this disruption. More energy is entering the climate system as compared to the amount of energy leaving it. This unbalance is defined as the Earth Energy Imbalance (EEI). As a consequence, heat is accumulating in Earth climate. Most of this surplus heat is stored in the ocean, about 90%, and it is measured in terms of ocean heat content. The latest results indicate that global warming is accelerating (Minière et al., 2023; Storto et al., 2024).

This, potentially accelerating, ocean warming alters the vertical structure of the ocean inducing a stronger stratification of the upper layers and might favor the genesis, intensification and duration of Marine Heat Waves together with changes in atmospheric ocean circulation drivers (Oliver, 2019). Indeed, the surface temperature of the oceans has been rising, with extreme periods occurring more frequently over the past two decades. These are known as marine heat waves, or MHWs (Frölicher et al., 2018). We do not yet know the extent and depth of such events, nor do we know their connection to the atmosphere in terms of drivers and impacts. Nevertheless, these extreme warming events have been documented to have significant impacts on marine ecosystems (Smale et al., 2019; Smith et al., 2023), as well as on human well-being and regional economies (Holbrook et al., 2022).

In this PhD project, we will address this issue by focusing on the Atlantic Ocean which has been identified as one of the major regions of ocean warming (e.g., Cheng et al., 2023; Li et al., 2023) and where changes and extreme events have been observed to increase in frequency and intensity.

The candidate will work within the framework of the Europe Horizon2030 project ObsSea4Clim (Ocean observations and indicators for climate and assessments : <https://obssea4clim.eu>). One of the main focus of ObsSea4Clim is to assess MHWs and with this provide a better framework for observing and predicting actionable indicators for sustainable development and climate change adaptation.

The objectives are to:

- (i) Analyze critical areas of regional heat accumulation and changes in stratification as well as MHWs impacted areas under global warming.
- (ii) Identify the most critical areas (e.g., structure of the ocean circulation, modes of internal climate variability, synoptic atmospheric circulation) how heat is redistributed into the deep ocean layers, and how this has changed the vertical ocean stratification.
- (iii) Understanding the regional development of MHW processes and deciphering how they have changed with ocean warming and stratification, as well as with synoptic atmospheric circulation and climate variability (on interannual and interdecadal scales)..

The questions to be addressed are:

- (a) What are the elements of the regional ocean system that are changing ?
- (b) Are there key ocean processes that can explain the observed behavior ?
- (c) What are the respective roles of the ocean warming and atmosphere circulation and their interactions in a warming climate in the observed changes in MHWs ?
- (d) What role do MHWs play in overshooting the 1.5°C global warming threshold?
- (e) Do current climate models correctly represent these phenomena? What do large ensembles of climate simulations tell us about the processes in point (b)?

Indicative work program

- 1) Careful characterization of regional ocean warming and marine heat waves based on analysis of historical data from observations and reanalyses. We will focus on the Atlantic Ocean.
- 2) Composite study of periods of ocean warming, stratification and marine heat waves.
- 3) Analysis of CMIP6 model results using the methods defined in (1) and (2).
- 4) At the end of the thesis, based on the results obtained, we will be able to design sensitivity experiments using the IPSL global climate model.

Student profile

We are seeking a highly motivated candidate with a Master's degree in physical oceanography, atmospheric sciences, or a related field. Applicants from physical or mathematical disciplines with an interest in climate science are also welcome.

Employment

- Employment form: Fixed-term employment, 3 years.
- Extent: 100%
- Placement: : Laboratoire de Météorologie Dynamique - IPSL
Ecole normale supérieure - PSL
45 rue d'Ulm
75231 Paris Cedex 05, France
- First day of employment: Upon agreement (approximately 1 October 2024)

The working environment

The *École normale supérieure* (ENS: <https://www.ens.psl.eu/en>) is home to 800 researchers and lecturers, 300 post-doctoral researchers and 600 doctoral students. It hosts 32 research units in the humanities and sciences, covering a very broad scientific field at the highest international level. As part of the Université Paris Sciences et Lettres, the Ecole normale supérieure promotes fundamental research that expands the frontiers of knowledge while facilitating and encouraging its exploitation. Its research is structured in a dynamic way to anticipate and support the latest developments in the most advanced fields of science and to promote multidisciplinary initiatives. Strong research and attractive study programmes attract researchers and students from around the world. With new knowledge and new perspectives, the Ecole normale supérieure contributes to a better future.

The *Laboratoire de Météorologie Dynamique* (LMD: <https://www.lmd.ipsl.fr/en/home-2/>) studies climate, planetary atmospheres and the ocean by combining theoretical approaches, instrumental developments for observation and numerical modelling. It is at the forefront of research on the dynamic, physical and biogeochemical processes enabling the study of the evolution and forecasting of ocean, meteorological and climatic phenomena. The LMD is clearly positioned both on fundamental research on the processes, dynamics and biogeochemistry of the ocean, atmosphere and climate, and on finalized research, particularly on questions relating to the anticipation of global warming and its consequences.

The LMD has an interdisciplinary width that includes marine biology, marine chemistry, oceanography, and experts on the dynamics and physics of the atmosphere. Our scientists and students often have prominent roles in international project, from Antarctica, Arctic, and the great world seas, atmosphere and climate.

Contact information

If you have any questions about the position, please contact Prof Sabrina Speich sabrina.speich@lmd.ens.fr

Application

Submit your application by email to sabrina.speich@lmd.ens.fr

The application should be sent in French or English and contain:

- A one page cover letter outlining your ambitions for the outlined position and relevance to the position description must be included.
- ID
- CV
- Copy of diplomas

Applications must be received by: 2024-07-25

Information for International Applicants

Choosing a career in a foreign country is a big step. Thus, to give you a general idea of what we and Paris have to offer in terms of benefits and life in general for you and your family/spouse/partner please visit:

<https://www.ens.psl.eu/en/campus-life-paris>

The ENS works actively to achieve a working environment with equal conditions, and values the qualities that diversity brings to its operations.

Salaries are set individually at the ENS.

In connection to this recruitment, we have already decided which recruitment channels we should use. We therefore decline further contact with vendors, recruitment and staffing companies.

References

Frölicher, T. L., Fischer, E. M. & Gruber, N. Marine heatwaves under global warming. *Nature* 560, 360–364 (2018)

Hansen, J.E., , Makiko Sato, Leon Simons, Larissa S Nazarenko, Isabelle Sangha, Pushker Kharecha, James C Zchos, Karina von Schuckmann, Norman G Loeb, Matthew B Osman, Qinjian Jin, George Tselioudis, Eunbi Jeong, Andrew Lacis, Reto Ruedy, Gary Russell, Junji Cao, Jing Li, Global warming in the pipeline, *Oxford Open Climate Change*, Volume 3, Issue 1, 2023, kgad008, <https://doi.org/10.1093/oxfclm/kgad008>

Holbrook, N. J. et al. Impacts of marine heatwaves on tropical western and central Pacific Island nations and their communities. *Glob. Planet. Change* 208, 103680 (2022).

IPCC, 2021 : Summary for policymakers. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds Masson-Delmotte, V. et al.) 3–32 <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001> (Cambridge University Press, 2021).

Li, Z., England, M.H. & Groeskamp, S. Recent acceleration in global ocean heat accumulation by mode and intermediate waters. *Nat Commun* 14, 6888 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-42468-z>

- Loeb, N. G. et al. Satellite and ocean data reveal marked increase in Earth's heating rate. *Geophys. Res. Lett.* 48, e2021GL093047 (2021).
- Minière, A., von Schuckmann, K., Sallée, JB. et al. Robust acceleration of Earth system heating observed over the past six decades. *Sci Rep* 13, 22975 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49353-1>
- Oliver, E.C.J. Mean warming not variability drives marine heatwave trends. *Clim Dyn* 53, 1653–1659 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04707-2>
- Raghuraman, S. P., Paynter, D. & Ramaswamy, V. Anthropogenic forcing and response yield observed positive trend in Earth's energy imbalance. *Nat. Commun.* 12, 4577 (2021).
- Smale, D. A. et al. Marine heatwaves threaten global biodiversity and the provision of ecosystem services. *Nat. Clim. Change* 9, 306–312 (2019).
- Smith, K. E. et al. Biological Impacts of Marine Heatwaves. *Annu. Rev. Marine Sci.* 15, 119–145 (2023).
- Storto, A., Yang, C. Acceleration of the ocean warming from 1961 to 2022 unveiled by large-ensemble reanalyses. *Nat Commun* 15, 545 (2024).