

STAGE DE RECHERCHE de MASTER 2^{ème} ANNEE

Master SOAC / WAPE
Année Universitaire 2025-2026

LABORATOIRE : LOCEAN

SUJET DU STAGE : Marine Heat Waves and trapped waves along the Brazilian Coast.

COORDONNEES DU RESPONSABLE :

Nom – Prénom : Artana Camila and Léa Poli

Adresse : 4 Place Jussieu, Paris

Téléphone : +33144273481

E-mail : cartlod@locean-ipsl.upmc.fr

NATURE DU SUJET :

Théorie	Pas du tout	Un peu	Beaucoup
Modélisation num.	Pas du tout	Un peu	Beaucoup
Expérimentation	Pas du tout	Un peu	Beaucoup
Analyse de données	Pas du tout	Un peu	Beaucoup
Instrumentation	Pas du tout	Un peu	Beaucoup

SUJET (Anglais):

The ocean has absorbed at least 90% of the excess heat generated by human-induced greenhouse gas emissions, making climate change increasingly irreversible (Von Schuckmann et al., 2020). This ocean warming significantly impacts regional climates, contributing to sea-level rise, altering ocean circulation patterns, stratification, salinity, upwelling, nutrient availability, acidification, deoxygenation, and biological processes.

Warming trends over the past 50 years have been unevenly distributed across the world's oceans. One of the most pronounced warming hotspots is the Western Tropical Atlantic Ocean, which has experienced substantial temperature increases over the last five decades. This region is particularly sensitive to extreme ocean temperature events, known as marine heatwaves (MHWs), which are increasingly affecting densely populated areas of Brazil. The consequences of these events are severe, negatively impacting local climates, economies, public health, and marine ecosystems (Smith et al., 2021).

Recent studies have documented a marked increase in the frequency of MHWs over the past century and suggest that MHWs will become even more frequent in the future (Oliver et al., 2018). However, the physical mechanisms driving the development of MHWs along the Brazilian coastlines remain poorly understood. This gap in knowledge limits our ability to predict and mitigate the effects of these extreme events in the region.

In this internship, we propose to investigate the role of trapped waves (TWs) in contributing to the development of MHWs. The South American continental shelf, with its variable slope and orientation, provides an ideal setting for the propagation of a wide range of topographic waves. Trapped waves are oceanic gravity waves in which the Coriolis force is balanced by a topographic or dynamic boundary, such as a coastline or a waveguide like the equator. These non-dispersive waves propagate along the coast with the coast on their left in the Southern Hemisphere. Their characteristics are shaped by factors such as local stratification, slope steepness, continental shelf width, latitude, and the prevailing currents.

Trapped waves induce current anomalies which transport temperature anomalies over large distances and induce significant vertical displacements of the thermocline. These vertical shifts can, in turn, contribute to the development of subsurface marine heatwaves. TWs have already been proposed as a key mechanism in the formation of subsurface MHWs in several regions (e.g., Amaya et al., 2023; Gupta et al., 2023). Additionally, these waves are associated with strong vertical velocities, which can enhance nutrient fluxes toward the ocean surface, potentially affecting marine productivity. However, a detailed assessment of the impact of TWs on primary productivity in the tropical Atlantic remains absent.

Our study aims to use cutting-edge satellite observations and ocean reanalysis data to characterize the propagation of TWs along the Brazilian coast and evaluate their potential effects on temperature variability and primary production. By exploring the interplay between TWs and marine heatwaves, this research will offer new insights into the physical processes driving MHWs and their broader ecological consequences.

SUJET (Français) :

L'océan a absorbé au moins 90 % de la chaleur excédentaire générée par les émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine, rendant le changement climatique irréversible (Von Schuckmann et al., 2020). Ce réchauffement des océans a un impact significatif sur les climats régionaux, contribuant à l'élévation du niveau de la mer, modifiant la circulation océanique, la stratification, les phénomènes d'upwelling, la disponibilité des nutriments, l'acidification, la désoxygénation et les processus biologiques.

Les tendances de réchauffement au cours des 50 dernières années sont inégalement distribuées dans les océans du monde. L'une des régions le plus impactée est l'océan Atlantique tropical occidental, qui a connu des augmentations de température importantes au cours des cinq dernières décennies. Cette région est particulièrement sensible aux événements extrêmes de température océaniques, connus sous le nom de vagues de chaleur marine, qui affectent des régions densément peuplées du Brésil. Les conséquences de ces événements extrêmes sont graves, impactant les climats locaux, les économies, la santé publique et les écosystèmes marins (Smith et al., 2021).

Des études récentes ont documenté une augmentation marquée de la fréquence des vagues de chaleur marine au cours du dernier siècle et suggèrent qu'elles deviendront encore plus fréquentes à l'avenir (Oliver et al., 2018). Cependant, les mécanismes physiques qui régissent le développement des vagues de chaleur marine le long des côtes brésiliennes restent mal compris. Ce manque de connaissances limite notre capacité à prédire et à atténuer les effets de ces événements extrêmes dans la région.

Dans ce stage, nous proposons d'étudier le rôle des ondes piégées dans le développement des vagues de chaleur marine. Le plateau continental sud-américain, avec une pente d'orientation variable, constitue un cadre idéal pour la propagation d'une large gamme d'ondes topographiques. Les ondes piégées sont des ondes de gravité océaniques dans lesquelles la force de Coriolis est équilibrée par une barrière topographique ou dynamique, telle qu'une côte ou un guide d'ondes comme l'équateur. Ces ondes non dispersives se propagent avec la côte à gauche dans l'hémisphère sud. Leurs caractéristiques sont dépendantes des facteurs tels que la stratification locale, la pente, la largeur du plateau continental, la latitude et les courants dominants.

Les ondes piégées induisent des anomalies de courant qui transportent des anomalies de température sur de grandes distances et provoquent des déplacements verticaux significatifs de la thermocline. Ces déplacements verticaux peuvent, contribuer au développement de vagues de chaleur marine de subsurface. Les ondes piégées ont déjà été proposés comme un mécanisme clé dans la formation des vagues de chaleur marine de subsurface dans plusieurs régions (par exemple, Amaya et al., 2023 ; Gupta et al., 2023). De plus, ces ondes sont associées à de fortes vitesses verticales, augmentant les flux de nutriments vers la surface de l'océan, affectant potentiellement la productivité primaire. Cependant, une évaluation détaillée de l'impact des ondes piégées sur la productivité primaire dans l'Atlantique tropical est encore absente.

Notre étude vise à utiliser des observations satellitaires et des sorties de réanalyse océanique pour caractériser la propagation des ondes piégées le long de la côte brésilienne et évaluer leurs effets potentiels sur la variabilité de la température et la production primaire. En explorant l'interaction entre les ondes piégées et les vagues de chaleur marine, cette recherche offrira de nouvelles perspectives sur les processus physiques engendrant les vagues de chaleur marine et leurs conséquences écologiques plus larges.

Reference:

Amaya, D.J., Jacox, M.G., Alexander, M.A. et al. Bottom marine heatwaves along the continental shelves of North America. *Nat Commun* 14, 1038. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36567-0>, 2023.

Sen Gupta, A., Thomsen, M., Benthuyesen, J. A., Hobday, A. J., Oliver, E., Alexander, L. V., ... & Smale, D. A. Drivers and impacts of the most extreme marine heatwave events. *Scientific reports*, 10(1), 19359. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75445-3>, 2020.

Oliver, E. C., Benthuyesen, J. A., Darmaraki, S., Donat, M. G., Hobday, A. J., Holbrook, N. J., ... & Sen Gupta, A. Marine heatwaves. *Annual Review of Marine Science*, 13, 313-342. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-032720-095144>, 2021.

Poli, L., Artana, C., & Provost, C. (2022). Topographically trapped waves around South America with periods between 40 and 130 days in a global ocean reanalysis. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 127, e2021JC018067. <https://doi.org/10.1029/2021JC018067>

Poli, L., Artana, C., Provost, C., Sirven, J., Sennéchaël, N., Cuypers, Y., & Lellouche, J.-M. (2020). Anatomy of subinertial waves along the Patagonian shelf break in a 1/12° global operational model. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125, e2020JC016549. <https://doi.org/10.1029/2020JC016549>

Smith, K. E., Burrows, M. T., Hobday, A. J., Sen Gupta, A., Moore, P. J., Thomsen, M., Wernberg, T., & Smale, D. A. (2021). Socioeconomic impacts of marine heatwaves: Global issues and opportunities. *Science*, 374(6566), eabj3593. <https://doi.org/10.1126/science.abj3593>