

## **Titre : Contribution de la variabilité des tourbillons aux changements du niveau de la mer**

L'élévation du niveau de la mer est l'une des conséquences les plus directes du changement climatique actuel. Au cours du 20<sup>e</sup> siècle, le niveau moyen global de la mer s'est élevé de 1,5-2 mm. an<sup>-1</sup> (Fox-Kemper et al., 2021). Depuis le début des années 1990, les satellites altimétriques mesurent les changements du niveau de la mer avec une couverture quasi globale des océans (de 66°S à 75°N). L'élévation moyenne globale du niveau de la mer sur cette période montre une augmentation de 3,3 mm.an-1 suggérant une possible accélération de cette élévation (WCRP Sea Level Budget Group, 2018). Les données satellitaires ont, pour la première fois, mis en évidence une forte variabilité régionale dans les tendances du niveau de la mer différant de la tendance globale (Cazenave et Llovel, 2010 ; Llovel et al., 2018 ; 2022). Si le réchauffement global des océans et la fonte des glaces terrestres (glaciers de montagne, Groenland et Antarctique) sont les principaux acteurs de l'élévation moyenne globale observée du niveau de la mer, à l'échelle régionale, d'autres processus sont en jeu tels que les changements de salinité, la circulation et la dynamique océaniques et les interactions (flux) air-mer (vent, flux de chaleur et d'eau douce).

Actuellement, 267 millions de personnes dans le monde vivent à moins de 2 mètres au-dessus du niveau de la mer. D'ici 2100, avec une élévation du niveau de la mer de 1 mètre et une croissance démographique nulle, ce nombre pourrait passer à 410 millions de personnes (Hooijer et Vernimmen, 2021). C'est précisément cette variation régionale du niveau de la mer qui importe pour les sociétés côtières. Par conséquent, il est primordial d'étudier les variations du niveau de la mer à l'échelle régionale afin de déterminer les potentiels impacts socio-économiques futurs. Les projections du niveau de la mer utilisées dans les rapports du GIEC sont basées sur des modèles climatiques couplés dans lesquels la variabilité des tourbillons n'est pas résolue et les résultats s'écartent des observations, notamment dans l'océan Austral (van Westen et Dijkstra, 2021). Les processus de méso-échelle transportent la chaleur/l'eau douce sur de très grandes distances dans l'océan (à la fois horizontalement et verticalement). Ils régulent également les échanges d'énergie, d'humidité et de carbone entre les océans et l'atmosphère par couplage. Il est essentiel de comprendre ces processus et la manière dont ils pourraient évoluer à l'avenir pour pouvoir dépendre une évolution robuste du niveau de la mer à l'échelle mondiale et régionale.

Récemment, de nouvelles générations de modèles climatiques ont été intégrées avec la variabilité des tourbillons océaniques partiellement résolue avec une résolution spatiale de  $\frac{1}{4}^\circ$  et  $\frac{1}{12}^\circ$ . La compréhension de ces processus et la façon dont ils pourraient changer dans le futur est essentielle. L'objectif de cette thèse est donc de caractériser et de mieux comprendre la contribution de la variabilité des tourbillons aux changements régionaux du contenu en chaleur/eau douce de l'océan et leur contribution aux changements du niveau de la mer régional sur 1950-2050.

Cette thèse est entièrement financée par le projet 'European Eddy-Rich Earth System Models' (EERIE, Horizon Europe). Son ambition principale est de construire une nouvelle génération de modèles du système Terre-Atmosphère capables de représenter explicitement la variabilité méso-échelle des océans d'une importance cruciale, mais encore inexploré.

## Méthode

Le candidat.e sélectionné.e profitera d'une collection de simulations basées sur le modèle climatique HadGEM3-GC3.1 à différentes résolutions spatiales (de 250 km / 100km à 50km/8km pour l'atmosphère/océan, respectivement). Ces résultats sont disponibles dans le cadre du projet H2020 PRIMAVERA (<https://www.primavera-h2020.eu/>). Cette descente d'échelle dynamique sera précieuse pour évaluer la contribution de la variabilité tourbillonnaire (paramétrée ou résolue) par modèle océanique à 1°, ¼° et 1/12° et ses impacts sur le changement régional du niveau de la mer.

La première partie de la thèse sera consacrée à l'évaluation du réalisme de ces simulations par rapport aux observations spatiales et in situ (i.e. les données altimétriques satellitaires et les produits grillés basés sur Argo) à des échelles de temps (multi)décennales. Ensuite, dans une deuxième partie, les changements régionaux (halo/thermo)-stériques du niveau de la mer seront étudiés en fonction de la profondeur sur plusieurs échelles de temps décennales. L'utilisation des simulations de contrôle (piControl) sera précieuse pour évaluer la variabilité climatique interne sur les tendances (multi)décennales du niveau de la mer. Par conséquent, les recherches sur le changement du niveau de la mer (halo/thermos) à partir des simulations historiques seront comparées à la variabilité climatique interne et une attention particulière sera accordée à la variabilité des tourbillons. Une collaboration étroite avec Matt Palmer au Metoffice (<https://www.metoffice.gov.uk/>) sera précieuse tout au long de la thèse de 3 ans.

## Références:

- Cazenave and Llovel, 2010, Contemporary Sea Level Rise, *Annual Review of Marine Science*, Vol. 2:145-173, 2010.
- Fox-Kemper, B., H.T. Hewitt, C. Xiao, G. Aðalgeirsdóttir, S.S. Drijfhout, T.L. Edwards, N.R. Golledge, M. Hemer, R.E. Kopp, G. Krinner, A. Mix, D. Notz, S. Nowicki, I.S. Nurhati, L. Ruiz, J.-B. Sallée, A.B.A. Slangen, and Y. Yu, 2021: Ocean, Cryosphere and Sea Level Change. 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* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1211–1362, doi: [10.1017/9781009157896.011](https://doi.org/10.1017/9781009157896.011).
- Hooijer, A., Vernimmen, R. Global LiDAR land elevation data reveal greatest sea-level rise vulnerability in the tropics. *Nat Commun* **12**, 3592 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23810-9>
- van Westen and Dijkstra, *Sci. Adv.* 2021; **7** : eabf1674
- Williams, K., and 28 Coauthors, 2018: The Met Office Global Coupled model 3.0 and 3.1 (GC3.0 & GC3.1) configurations. *JAMES*, 10(2) 357-380. <https://doi.org/10.1002/2017MS001115>
- Kuhlbrodt, T., Jones, C. G., Sellar, A., Storkey, D., Blockley, E., Stringer, M., et al. (2018). The low-resolution version of HadGEM3 GC3.1: Development and evaluation for global climate. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 10, 2865–2888. <https://doi.org/10.1029/2018MS001370>.
- Llovel, W., Penduff, T., Meyssignac, B., Molines, J.-M., Terray, L., Bessières, L., & Barnier, B. (2018). Contributions of atmospheric forcing and chaotic ocean variability to regional sea level trend over 1993–2015. *Geophysical Research Letters*, 45, 13,405–13,413. <https://doi.org/10.1029/2018GL080838>
- Llovel W. et al 2022 *Environ. Res. Lett.* **17** 044063. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac5f93>
- Menary, M. B., Kuhlbrodt, T., Ridley, J., Andrews, M. B., Dimdore-Miles, O. B., Deshayes, J., et al. (2018). Preindustrial control simulations with HadGEM3-GC3.1 for CMIP6. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 10, 3049–3075. <https://doi.org/10.1029/2018MS001495>.
- Roberts, M. J., Baker, A., Blockley, E. W., Calvert, D., Coward, A., Hewitt, H. T., Jackson, L. C., Kuhlbrodt, T., Mathiot, P., Roberts, C. D., Schiemann, R., Seddon, J., Vannièrè, B., and Vidale, P. L.: Description of the resolution hierarchy of the global coupled HadGEM3-GC3.1 model as used in CMIP6 HighResMIP experiments, *Geosci. Model Dev.*, <https://doi.org/10.5194/gmd-12-4999-2019>, 2019.
- WCRP Global Sea Level Budget Group: Global sea-level budget 1993–present, *Earth Syst. Sci. Data*, 10, 1551–1590, <https://doi.org/10.5194/essd-10-1551-2018>, 2018.