



Proposition de stage de M2

Détection de tourbillons dans les systèmes de prévision océanique

Nom et statut des responsables de stage :

Marie Drévilleon, responsable du service Evaluation des Analyses et Prévisions
Sylvain Cailleau, océanographe modélisation régionale
Simon van Gennip, océanographe analyse lagrangienne

Coordonnées des responsables de stage :

Contact : marie.drevillon@mercator-ocean.fr
Mercator Océan
2 avenue de l'Aérodrome de Montaudran
31400 Toulouse
France

Sujet du stage :

Mercator Océan conçoit, développe et opère un **système d'analyse et de prévision océanique global à haute résolution** (1/12°, i.e. entre 9km et 2km selon la région du globe). Ce système produit chaque semaine 14 jours d'analyse (dans le passé) et chaque jour 10 jours de prévisions de température, de salinité et des courants de la surface au fond. Les états océaniques sont obtenus grâce au modèle océanique NEMO, couplée au système d'assimilation de données SAM2V1 développé par Mercator Océan (Lellouche et al, 2018). La température de surface et les anomalies de hauteur de mer satellitaires, ainsi que les données in situ de profils de température et salinité sont assimilés conjointement. Mercator Océan développe également un système d'analyse et de prévision au 1/36° de résolution horizontale pour l'Atlantique Nord-Est, qui est opéré quotidiennement par No login (Espagne) pour CMEMS ainsi que d'autres systèmes régionaux à haute résolution (par exemple sur l'Arc Antillais) dans le cadre de projets et partenariats. Mercator Océan produit aussi des simulations océaniques du passé avec assimilation de données (réanalyses) telles que GLORYS2V4 (Global 1/4° 1993-2019), GLORYS12 (Global 1/12° 1993-2019) et IBIRYS (Atlantique Nord-Est 1/12° 1993-2019). Ces analyses et prévisions font partie des nombreux produits d'observation et de prévision océaniques délivrés chaque jour par le **Copernicus Marine Service**, service Européen d'océanographie opérationnelle implémenté également par Mercator Ocean. Une des spécificités de ce service est de proposer une expertise sur la

qualité « scientifique » de chaque produit. Cette expertise est fondamentale pour les utilisateurs comme pour l'amélioration des systèmes. Par ailleurs Mercator Ocean travaille sur la conception d'indicateurs qualité qui permettent par exemple d'aiguiller les utilisateurs vers tel ou tel produit en fonction de leurs besoins spécifiques.

Une des pistes d'amélioration des performances des systèmes d'analyse et de prévision océaniques réside en une meilleure représentation des phénomènes de petite échelle, nécessitant une augmentation de la résolution spatiale et temporelle mais également une amélioration de la physique même des modèles. L'amélioration des performances de systèmes à haute résolution comme le système global au 1/36° actuellement en développement à Mercator Ocean nécessitera également de tirer le meilleur parti des futures observations à haute résolution de la mission SWOT (altimétrie large fauchée haute résolution) par exemple. Il est donc important de bien identifier les phénomènes physiques effectivement résolus par les différents systèmes, afin de mesurer les améliorations éventuelles.

L'objectif de ce stage est de contribuer à une meilleure quantification de la **résolution effective des phénomènes océaniques** dans les analyses et prévisions océaniques, en réalisant des détections de structures méso-échelle (tourbillons) à différentes résolutions. Le/la stagiaire utilisera des codes existants de détection de tourbillons (Mason et al, 2014) qu'il appliquera à des simulations numériques au ¼°, 1/12° et potentiellement au 1/36° dans la région de l'arc Antillais et dans les régions Nord Ouest Atlantique (Gulf Stream) et Nord Est Atlantique (IBI). La même analyse sera réalisée sur des cartes de niveau de la mer observé, et les tourbillons détectés seront comparés aux résultats des modèles aux différentes résolutions et pour ces différentes régions. L'analyse des résultats permettra de quantifier la capacité à représenter les tourbillons de ces modèles de résolution croissante dans des zones cibles, ce qui contribuera à l'amélioration continue des analyses et prévisions ainsi qu'à l'élaboration d'indicateurs d'adaptation de ces analyses et prévisions à différents usages (search and rescue, transports maritimes, météo et climat etc...).

Le stagiaire sera amené à manipuler des outils statistiques développés en python et fortran, ainsi que des fichiers très volumineux en provenance des systèmes à haute résolution (plusieurs Go). Le/la stagiaire sera amené à collaborer avec des équipes internationales, notamment Environnement Canada (Canada).

But du stage :

- Réaliser une comparaison des échelles résolues dans les produits Mercator Océan à différentes résolutions.
- Quantifier l'apport de la haute résolution pour les analyses et prévisions océaniques dans des régions clef.
- Contribuer à l'amélioration de la base existante de metrics de validation des analyses et prévisions Mercator Océan (Lellouche et al 2013, Hernandez et al 2015)
- Contribuer à la recherche sur la thématique de la détection de tourbillons océaniques.
- Acquérir la maîtrise d'un outil python de type « recherche » et acquérir l'expérience de contribuer à son transfert vers une production opérationnelle

Prérequis pour effectuer ce stage :

Bac + 5 en physique, géosciences, maths, maths appliquées, ou informatique
Connaissance de langages de programmation (python, Fortran...) et de l'environnement linux
Connaissances solides en océanographie physique
Connaissances en traitement du signal et analyse numérique
Bonne maîtrise de l'anglais

Mots clés: Océanographie, modélisation, haute résolution, validation, analyse spectrale, statistiques, ingénierie

Références :

Crocker, R., Maksymczuk, J., Mittermaier, M., Tonani, M., and Pequignet, C.: An approach to the verification of high-resolution ocean models using spatial methods, *Ocean Sci.*, 16, 831–845, <https://doi.org/10.5194/os-16-831-2020>, 2020.

Ebert, E. E. (2008). Fuzzy verification of high-resolution gridded forecasts: a review and proposed framework. *Meteorological applications*, 15(1), 51-64.

Hernandez, F. et al (2015) Recent progress in performance evaluations and near real-time assessment of operational ocean products, *Journal of Operational Oceanography*, 8:sup2, s221-s238, DOI: 10.1080/1755876X.2015.1050282

Lellouche, J.-M., et al (2018) Recent updates to the Copernicus Marine Service global ocean monitoring and forecasting real-time 1/12° high-resolution system, *Ocean Sci.*, 14, 1093-1126, <https://doi.org/10.5194/os-14-1093-2018>, 2018.

Lellouche, J.-M., et al. (2013): Evaluation of global monitoring and forecasting systems at Mercator Océan. *Ocean Science*, 9, 57-81, <https://doi.org/10.5194/os-9-57-2013>

Mason, E., Pascual, A., & McWilliams, J. C., 2014. A New Sea Surface Height–Based Code for Oceanic 542 Mesoscale Eddy Tracking. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 31(5), 1181-1188. 543 doi:10.1175/JTECH-D-14-00019.1