



## *Proposition de stage de M2*

### *Quelle est la véritable résolution spatio-temporelle des analyses et prévisions océaniques ?*

#### *Nom et statut des responsables de stage :*

Marie Drévilleon, responsable du service Evaluation des Analyses et Prévisions

Mathieu Hamon, océanographe assimilation de données

Bruno Levier, océanographe modélisation régionale

#### *Coordonnées des responsables de stage :*

Contact : [marie.drevillon@mercator-ocean.fr](mailto:marie.drevillon@mercator-ocean.fr)

Mercator Océan

2 rue de l'aérodrome Montaudran

31400 Toulouse

#### *Sujet du stage :*

Mercator Océan conçoit, développe et opère un **système d'analyse et de prévision océanique global à haute résolution** ( $1/12^\circ$ , 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  $1/36^\circ$  de résolution horizontale pour l'Atlantique Nord-Est, qui est opéré quotidiennement par no login (Espagne) pour CMEMS. Mercator Océan produit aussi des simulations océaniques du passé avec assimilation de données (réanalyses) telles que GLORYS2V4 (Global  $1/4^\circ$  1993-2019), GLORYS12 (Global  $1/12^\circ$  1993-2019) et IBIRYS (Atlantique Nord-Est  $1/12^\circ$  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  $1/36^\circ$  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 analyses spectrales spatiales et temporelles de champs océaniques à différentes résolutions, et en participant à l'intégration d'un outil d'analyse spectrale existant dans la chaîne de validation automatique des analyses et prévisions Mercator Ocean. Dans un premier temps, le/la stagiaire prendra en main des codes existants d'analyse spectrale, de filtrage et de tracé des observations, ainsi que d'outils de calcul de statistiques diverses qu'il appliquera à des simulations numériques au  $1/4^\circ$ ,  $1/12^\circ$  et potentiellement au  $1/36^\circ$ . Dans un deuxième temps, le/la stagiaire prendra en main des codes existants permettant d'extraire, d'analyser et de comparer les analyses et prévisions Mercator Océan à différentes résolutions avec les mouillages et les observations radar HF. Par la suite, le/la stagiaire recherchera des relations statistiques optimales entre les observations et les « équivalents modélisés », en faisant varier le nombre de points considérés autour de l'observation, ou en testant d'autres « opérateurs d'observation » qui permettraient de rendre plus compatible ou de mieux phaser les observations et le modèle. L'analyse des résultats permettra de quantifier les échelles spatio-temporelles représentées par ces modèles de résolution croissante, 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 à Puertos del Estado (Espagne) et au Metoffice (Royaume Uni).

### ***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 représentativité des analyses et prévisions océaniques, et la prévisibilité de la physique océanique.
- 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>