M2 SOAC : Fiche de stage de recherche en laboratoire

Laboratoire : LEGOS

Titre du stage : Dynamique de méso/submésoéchelle dans l'océan Atlantique Tropical Est

Nom et statut du (des) responsable (s) de stage : : Isabelle Dadou (LEGOS), Gaël Alory (LEGOS) et collaborateurs projet SWOT-ETAO

Coordonnées (téléphone et email) du (des) responsable (s) de stage :05 61 33 29 02 ; isabelle.dadou-pinet@utoulouse.fr, gael.alory@utoulouse.fr

Financement de stage acquis

Sujet de stage :

L'océan Atlantique tropical Est (ETAO) est une région océanique caractérisée par deux dômes cycloniques (Guinée et Angola) séparés par la dynamique équatoriale (courants zonaux à grande échelle, ondes, instabilités,...) et d'autres processus particuliers associés à la dynamique à grande échelle (upwelling équatorial avec sa langue d'eau froide) et à la dynamique côtière (upwelling côtier le long de la Côte d'Ivoire, du Ghana, du Congo, courants côtiers, ondes côtières piégées, marées internes et décharges fluviales).

La zone ETAO est également connue pour être une zone très productive en termes de concentrations de chlorophylle, production primaire, écosystèmes et ressources halieutiques. De nombreux pays riverains de la région ETAO dépendent fortement des écosystèmes marins pour de nombreuses activités/services : l'alimentation, les ressources naturelles, le tourisme et la régulation du climat. Il est donc urgent de fournir des informations fiables sur leur état actuel afin de comprendre comment ces écosystèmes pourraient évoluer au cours des prochaines années ou décennies, qui sont les échelles de temps présentant un intérêt immédiat pour la plupart des parties prenantes et des acteurs économiques. Des études ont déjà montré la vulnérabilité de cette production au changement climatique à grande échelle dans l'océan Atlantique. Mais aussi à plus petite échelle en milieu côtier comme les évènements de vagues de chaleur. Hors, ces écosystèmes et leur productivité sont peu connus dans la région ETAO notamment leur contrôle par l'apport de nutriment et la circulation océanique à grande échelle et à mésoéchelle (100 km) et submésoéchelle (10 km). Il est donc essentiel de mieux connaître cette productivité et les processus la contrôlant afin de pouvoir prévoir son évolution face au changement climatique.

Les processus de méso-échelle (~100 km, tourbillons, etc.), et submésoéchelle (~ 10 km, fronts, petits tourbillons, etc.), responsables d'une grande partie du transport de propriétés océaniques (chaleur, sel, traceurs biologiques et chimiques) restent à comprendre dans l'océan en général (e.g. Chelton et al., 2011), ce qui a motivé le lancement du satellite SWOT dédié à leur étude en décembre 2022. Cette dynamique à méso/submésoéchelle est particulièrement difficile à étudier dans cette région ETAO. En effet, l'activité méso/submésoéchelle en terme de tourbillons (durée de vie, amplitude) présente un signal faible dans les données altimétriques par rapport aux régions de moyennes latitudes (Chelton et al., 2011, Aguedjou et al., 2019 ; Aguedjou et al., 2021). Si l'altimétrie a permis une avancée certaine dans l'étude de l'activité mésoéchelle, les diagnostics dans les régions équatoriales restent problématiques et doivent être améliorés car la circulation n'est plus en équilibre géostrophique. De plus, la plupart des équilibres physiques gouvernant la dynamique aux latitudes moyennes sont fortement affectés, tels que les conditions de stabilité des courants de grande échelle et les mécanismes de génération de tourbillons, les caractéristiques des courants côtiers, ou encore la dynamique des panaches fluviaux (Vic et al, 2014). Enfin, la compréhension du lien entre la circulation côtière, les upwellings côtiers, les processus de méso-submésoéchelle, le mélange de surface et la biogéochimie est particulièrement d'intérêt dans

l'ETAO (Brandt et al., 2023). Il s'agit en effet d'une région de forte productivité et de pêche, intéressante pour comprendre les événements anoxiques associés aux faibles concentrations d'oxygène, la prolifération des algues, les vagues de chaleur ainsi que la pompe à carbone océanique. Dans le projet international SWOT-ETAO (projet SWOT NASA/EUMETSAT/CNES, https://swot.cnes.fr/fr/, https://swot.jpl.nasa.gov), la dynamique de méso/submésoéchelle dans la zone ETAO et son couplage avec la biogéochimie sont étudiés en utilisant des données satellitaires et in situ ainsi que la modélisation physique et couplée physique/biogéochimie à haute résolution spatiale et temporelle.

Le stage se concentrera sur la dynamique de méso/submésoéchelle notamment dans les upwellings côtiers, au large des fleuves et autour des îles à partir des données in situ, satellite et les sorties du modèle physique (NEMO) et/ou modèle couplé physique/biogéochimie (NEMO/PISCES) pour la configuration sur le golfe de Guinée à haute résolution spatiale (1/36°). La configuration physique NEMO (1/12°, 1/36°) aux équations primitives a déja été validée et utilisée pour l'étude de la dynamique de mésoéchelle, les upwellings côtiers et l'interaction avec les îles (Dieng et al., 2019; Alory et al., 2021, Napolitano et al., 2022, Ngakala et al., 2024 ; Thiam et al., 2024 et 2026 ; Cardot et al., 2026) ainsi que la configuration couplée (1/36°) (Di Matteo, 2023 ; Mbang Essome, 2023 ; Mbang Essome et al., 2026).

La première partie du stage consistera à utiliser les données SWOT dans la zone d'étude en combinant avec les autres informations satellite (température, chlorophylle, salinité, vent) dans la zone ETAO. Dans une seconde partie du stage, des évènements de méso/submésoéchelle (tourbillon, front, filament, onde) seront plus particulièrement étudiés dans l'upwelling côtier, au large du fleuve et/ou iles à partir des données satellite et la modélisation haute résolution (1/36°). Dans une dernière partie, la modélisation haute résolution permettra de comprendre les processus en jeu (advection, diffusion, etc.) dans cette dynamique de méso/submésoéchelle.

En fonction des motivations et interêts de l'étudiant(e), le stage pourra porter plus sur la dynamique physiques ou couplée physique/biogéochimie océanique ainsi que les données satellite ou la modélisation.

Les principales étapes du plan de travail du stage sont les suivantes:
- l'étudiant(e) fera une courte revue bibliographique sur les principaux processus physiques et /ou biogéochimiques couplés, les caractéristiques de la circulation et/ou propriétés biogéochimiques (nutriments, chlorophylle, production primaire) dans la zone ETAO.
- L'étudiant(e) se familiarisera avec les données SWOT et le modèle réaliste physique (NEMO) et/ou couplé (NEMO/PISCES), les différents champs simulés ainsi que les données satellitaires et in situ utilisées dans le projet SWOT-ETAO.
- L'étape suivante consistera à étudier les signaux dans les données SWOT avec les autres données satellite dans l'ETAO afin de sélectionner différents évènements de méso/submésoéchelle en lien avec des upwellings côtiers, des îles, fleuves.
- La modélisation sera ensuite utilisée pour étudier un évènement de méso/submésoéchelle plus en détail afin de faire une étude des processus mis en jeu.

Le travail sera divisé en 25% de travail bibliographique, 50% d'analyse des sorties de modèles et des données (sous Python) et 25% d'interprétation, de rédaction de rapports et idéalement d'une publication. Une bonne connaissance de Python et de la dynamique océanique (physique et/ou biogéochimie) est fortement recommandée.

Références :
Aguedjou, H. M. A., Dadou, I., Chaigneau, A., Morel, Y., & Alory, G. (2019). Eddies in the Tropical Atlantic Ocean and their seasonal variability. Geophysical Research Letters, 46(21), 12156-12164.
Aguedjou, H. M. A., Chaigneau, A., Dadou, I., Morel, Y., Pegliasco, C., Da-Allada, C. Y., & Baloïtcha, E. (2021). What can we learn from observed temperature and salinity isopycnal anomalies at eddy generation sites? Application in the Tropical Atlantic Ocean. Journal of Geophysical Research: Oceans, 126(11), e2021JC017630.

Alory, G., Da-Allada, C. Y., Djakouré, S., Dadou, I., Jouanno, J., & Loemba, D. P. (2021). Coastal upwelling limitation by onshore geostrophic flow in the Gulf of Guinea around the Niger River plume. Frontiers in Marine Science, 7, 607216.

Brandt P., Alory G., Awo F. M., Dengler M., Djakouré S., Imbol Koungue R; A, Jouanno J., Körner M., Roch M., Rouault M., (2023) Physical processes in the upwelling regions of the tropical Atlantic. Ocean Science, 19(3), 581-601, doi: 10.5194/os-19-581-2023.

Cardot, C., Dadou, I., Napolitano, D. C., Aguedjou, H. M. A., Ngakala, R., Morel, Y., ... & Jouanno, J. (2026). Dynamics off the Congo River and its impact on the water exchange between the coastal and open ocean at different timescales. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, *131*(6), e2025JC023642.

Chelton, D. B., Schlax, M. G., & Samelson, R. M. (2011). Global observations of nonlinear mesoscale eddies. Progress in oceanography, 91(2), 167-216.

Dieng, H. B., Dadou, I., Leger, F., Morel, Y., Jouanno, J., Lyard, F., & Allain, D. (2021). Sea level anomalies using altimetry, model and tide gauges along the african coasts in the eastern tropical atlantic ocean: Inter-comparison and temporal variability. Advances in Space Research, 68(2), 534-552.

Di-Matteo Lisa, Couplage physique-biogéochimie dans l'Atlantique tropical Est. Stage de M2SOAC-DC, UPS, 2023.

Mbang-Essome- Couplage Physique-biogéochimie au large du Fluev Congo dans le golfe de Guinée, Stage de M2SOAC-OA, UPS-UAC, 2023.

Mbang Essome, L. J., Alory, G., Yelognissé Da-Allada, C., Dadou, I., Ngakala, R. D., and Morvan, G.: Physical and biological processes driving seasonal variability of Nitrate budget and biological productivity in the Gabon-Congo upwelling system, Ocean Sci., 22, 1279–1309, https://doi.org/10.5194/os-22-1279-2026, 2026.

Napolitano, D., Alory, G., Dadou, I., Morel, Y., Jouanno, J., & Morvan (2022). Influence of the Gulf of Guinea islands on the Atlantic Equatorial Undercurrent circulation. Journal of Geophysical Research. Oceans, In press.

Vic, C., Berger, H., Tréguier, A. M., & Couvelard, X. (2014). Dynamics of an equatorial river plume: Theory and numerical experiments applied to the Congo plume case. Journal of physical oceanography, 44(3), 980-994.

Ngakala, R. D., Alory, G., Da-Allada, C. Y., Dadou, I., Cardot, C., Morvan, G., Jouanno, J., Illig, S. & Baloïtcha, E. (2023). Seasonal Mixed-Layer Temperature in the Congolese Upwelling System. Journal of Geophysical Research, en révision.

Thiam, A. K., Alory, G., Dadou, I., Napolitano, D., Cardot, C., Aguedjou, M., Morvan, G., Morel, Y. & Jouano, J. (2024). Mesoscale dynamics and its interaction with coastal upwelling in the northern Gulf of Guinea. Frontiers in Marine Science, Soumis.

Thiam, A. K., Dadou, I., Imbol Koungue, R. A., Illig, S., Brandt, P., Alory, G., & Morvan, G. (2026). Impact of intraseasonal coastal trapped waves on upwelling in the northern Gulf of Guinea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, *131*(4), e2025JC023227.