

Impact du changement climatique sur la dynamique du transport en Mer des Caraïbes.

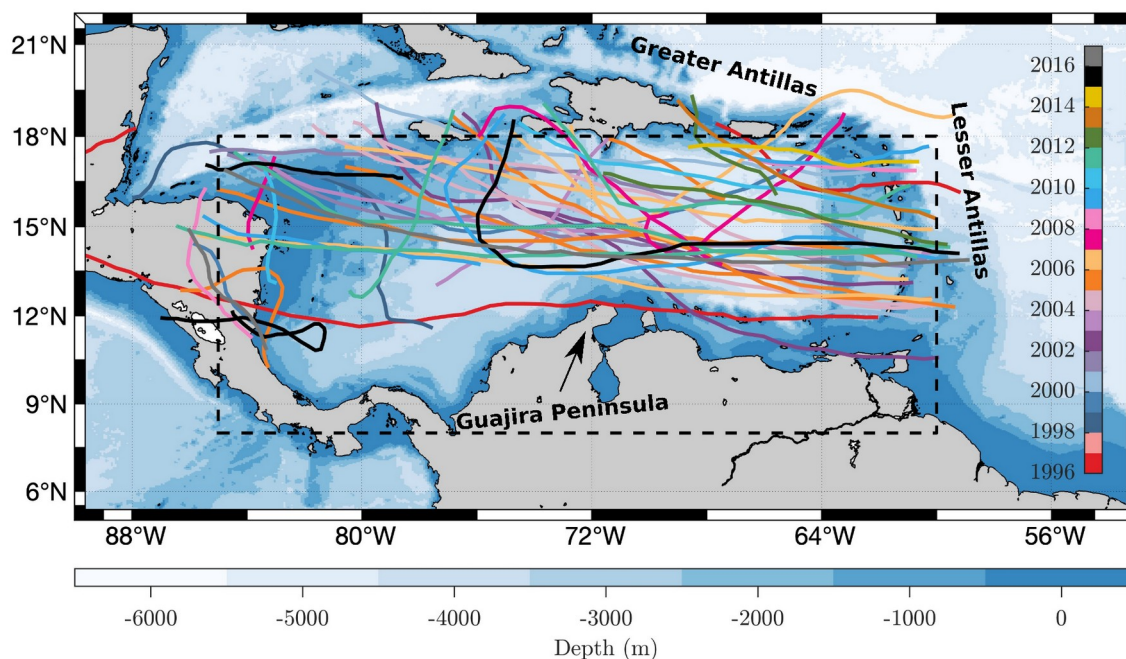


Figure : Trajectoires et dates des ouragans en Mer des Caraïbes

La mer des Caraïbes est un bassin semi-fermé délimité au sud et à l'ouest par les continents d'Amérique du Sud et d'Amérique centrale, et au nord et à l'est par les Grandes et les Petites Antilles. Le bassin possède des écosystèmes clés tels que les récifs coralliens, les herbiers marins et les mangroves. Il abrite le plus grand système récifal de l'hémisphère nord et le deuxième au monde, ainsi que le plus étendu et le plus productif de l'Atlantique (la réserve de biosphère Seaflower) [5]. Néanmoins, les facteurs de stress climatique (tels que les événements extrêmes ou l'élévation du niveau de la mer) peuvent menacer la chaîne alimentaire pour le biote marin et les humains, car la dynamique du transport peut être modifiée ainsi que les connectivités naturelles dans le bassin.

L'eau de la mer des Caraïbes provient de nombreux passages reliant le bassin à l'océan Atlantique tropical. L'apport d'eau le plus important provient du courant équatorial nord, qui se déplace vers l'ouest dans le bassin des Caraïbes à travers les passages des îles Sous-le-Vent (entre Porto Rico et Guadeloupe) et des îles du Vent (entre la République dominicaine et Saint-Vincent) [4]. En outre, le courant du Brésil Nord pénètre par le côté sud-est des Petites Antilles (entre Saint-Vincent et Trinité-et-Tobago), où les interactions avec les îles divisent le courant frontalier en un jet primaire côtier et quelques voies plus étroites qui contournent les îles et qui se rejoignent ensuite pour former le courant des Caraïbes (CC). Le CC s'étend jusqu'au Panama, où une branche s'écoule vers le canal du Yucatan, et une autre branche peut recirculer pour former le tourbillon Panama-Colombie, qui, dans des conditions de vent favorables, peut générer un contre-courant qui atteint la péninsule de La Guajira, connu sous le nom de contre-courant des Caraïbes [1]. Le CC est considéré comme le courant de surface le plus important du bassin, chargé de transporter l'eau de l'Atlantique Sud vers le courant de Floride et le Gulf Stream. Le CC subit des variations spatio-temporelles dues à la présence d'activités tourbillonnaires à méso-échelle produites par des instabilités horizontales de type cisaillement dans le flux moyen, ainsi que par des variations topographiques.

Les tourbillons sont des structures omniprésentes en mer des Caraïbes, de sorte que l'advection et la dispersion au large des larves, des panaches fluviaux, ou des matières flottantes et des polluants (transport et mélange des eaux) sont principalement influencées par les courants océaniques entrants et l'influence des forçages atmosphériques [4]. Le vent et sa variabilité sont principalement

déterminés par les vents d'est (qui sont modulés par la migration de la Zone de Convergence Intertropicale (ITCZ)), l'arrivée des fronts froids, et la dynamique du Caribbean Low-Level Jet (CLLJ) [9]. La région est caractérisée par une dynamique climatique bi-modèle, avec une saison sèche et venteuse de décembre à mars et une saison humide d'août à novembre, régulée par l'oscillation latitudinale de la ITCZ. En outre, deux périodes de transition sont présentes entre mai-juin et septembre-octobre, lorsque les vents d'est tendent à s'affaiblir et que la CLLJ s'intensifie.

Ce projet vise à évaluer l'impact sur la connectivité et le transport dans la Mer des Caraïbes en fonction des tendances/fluctuations dans les indices climatiques à long terme.

La région des Caraïbes est vulnérable aux phénomènes climatiques extrêmes, confrontée à des menaces telles que les tempêtes tropicales, les ouragans, les sécheresses, les fortes précipitations et les tsunamis. Il a été récemment démontré que les vagues extrêmes dans la mer des Caraïbes sont spatialement distribuées dans le bassin, présentant des liens avec l'ENSO (El Niño – Southern oscillation) par une forte corrélation positive/négative avec des indices tels que l'ONI (Niño océanique), la NAO (Oscillation nord-atlantique) et l'AMO (Oscillation atlantique multidécennale) [8]. Par conséquent, il est nécessaire de comprendre les processus de connectivité et de transport actuels, ainsi que leurs changements potentiels dans un avenir proche en fonction des indices climatiques mondiaux.

Pour déterminer la connectivité [2] et la dynamique du transport dans le bassin, la méthode des structures cohérentes lagrangiennes (LCS) sera appliquée aux courants de surface de l'océan à partir des sorties numériques à haute résolution ($\sim 1/12^\circ \sim 10\text{km}$) fournies par le modèle HYCOM de 1994 à 2018. Ces simulations incluent l'assimilation des données océaniques (NCODA). Les LCS sont les squelettes de l'écoulement des fluides qui fournissent des informations significatives sur la circulation lagrangienne, de sorte que les parcelles d'eau peuvent être simulées comme des particules virtuelles advectées/diffusées par les courants de surface, permettant de déduire les régions qui exportent, importent ou retiennent les masses d'eau/particules [6,7].

En outre, les méthodes d'apprentissage automatique peuvent nous aider à classer et à prévoir comment ces parcelles d'eau peuvent évoluer dans le temps [3] en lien avec les indices climatiques à long terme ; ainsi, les scénarios futurs de connectivité dans la mer des Caraïbes peuvent être déterminés. Le réseau neuronal convolutif (CNN) conçu pour traiter des données ayant un réseau topologique connu, et capable de traiter des données de haute dimension à un faible coût de compilation sera utilisé.

L'objectif de ce projet de thèse est de comprendre la dynamique de transport dans la Mer des Caraïbes et d'identifier les zones marines liées d'un point de vue océanographique, et d'évaluer l'impact du changement climatique sur la connectivité. Une régionalisation de la Mer des Caraïbes est une étape nécessaire pour une meilleure gestion des ressources marines et des risques engendrés par les événements extrêmes. La méthodologie développée dans cette région de l'Océan particulièrement vulnérable pourra être adaptée à d'autres bassins océaniques.

Financement prévu: Bourse de l'Ecole Doctorale 548 de l'Université de Toulon

Date prévue de début de thèse : octobre 2024

Profil du candidat : Diplôme Master 2 ou d'Ingénieur dans le domaine de l'Océanographie Physique ; Expérience en modélisation numérique, méthodes d'apprentissage ou traitement de données géophysiques ; Compétences en programmation python (matlab et fortran souhaités) ; Bon niveau d'anglais (oral et écrit, B2 minimum).

Pour postuler : envoyer CV, notes de master, lettre de motivation et le nom de deux référents avant le 10 mai 2024 par email à anne.molcard@univ-tln.fr et alejandro.caceres-euse@univ-tln.fr.

Références :

1. Allende-Arandia, M. E., Duram, R., Sanvicente-Anorive, L. and Appendini, C. (2023). Lagrangian Characterization of Surface Transport From the Equatorial Atlantic to the Caribbean Sea Using Climatological Lagrangian Coherent Structures and Self-Organizing Maps. *Journal of Geophysical Research - Oceans*. 10.1029/2023JC019894.
2. Berline L, Rammou A-M, Doglioli A, **Molcard** A, Petrenko A (2014) A Connectivity-Based Eco-Regionalization Method of the Mediterranean Sea. *PLoS ONE* 9(11): e111978. doi:10.1371/journal.pone.0111978
3. **Cáceres-Euse**, A., Morales-Márquez, V., **Molcard**, A. (2023) On the observed wind-driven circulation response in small semi-enclosed bays. *Journal of Physical Oceanography*. 10.1175/JPO-D-22-0224.1.
4. Jouanno, J., Sheinbaum, J., Barnier, B., Molines, J. M., Candela, J. (2012) .Seasonal and Interannual Modulation of the Eddy Kinetic Energy in the Caribbean Sea. *Journal of Physical Oceanography*. 10.1175/JPO-D-12-048.1.
5. Lopera, L., Cardona, Y., Zapata-Ramirez, P. A. (2020). Circulation in the Seaflower Reserve and Its Potential Impact on Biological Connectivity. *Frontiers in Marine Science*. 10.3389/fmars.2020.00385.
6. Mansui, J., **Molcard**, A., Ourmier, Y. (2015). Modelling the transport and accumulation of floating marine debris in the Mediterranean basin. *Marine pollution bulletin* 91 (1), 249-257
7. Maslo, A., Azevedo Corria de Souza, J. M., Andrade-Canto, F. (2020). Connectivity of deep waters in the Gulf of Mexico. *Journal of Marine systems*. 10.1016/j.jmarsys.2019.103267.
8. Morales-Márquez, V., **Cáceres-Euse**, A., Hernandez-Carrasco, I., **Molcard**, A., Orfila, A. (2023) Extreme waves in the Caribbean sea: Geographical regionalization and long-term analysis. *Frontiers in Marine Science*. 10.3389/fmars.2023.1294189.
9. Orfila, A., Urbano-Latorre, C.P., Sayol, J.M., Gonzalez-Montes, S., **Cáceres-Euse**, A., Hernández-Carrasco, I. et al. (2021) On the impact of the caribbean counter current in the guajira upwelling system. *Frontiers in Marine Science*. 10.3389/fmars.2021.626823.