

Proposition de sujet de thèse 2026

(A remplir par les équipes d'accueil et à retourner à Isabelle HAMMAD : hammad@cerege.fr
*à renseigner obligatoirement pour la validation du sujet, (1) : A remplir lors de la campagne d'attribution des allocations, à l'issue de la session de juin des Masters

Sujet de doctorat proposé *:

Encadrant(s) : Cristele Chevalier, cristele.chevlaier@mio.osupytheas.fr

Laboratoire *: M.I.O.

Tableau récapitulatif du sujet

| | |
|--|---|
| Candidat(e)(1) | |
| Nom - Prénom : | |
| Date de naissance : | |
| Licence (origine, années, mention) : | |
| Mention et classement au Master 1 année (Xème sur Y) | |
| Mention et classement au S3 du Master 2 (Xème sur Y) | |
| Mention et classement au S4 du Master 2 (Xème sur Y) | |
| Mention et classement au M2 (année) (Xème sur Y) | |
| MASTER (nom, université) | |
| Sujet de doctorat proposé* | Modéliser le déplacement des radeaux de sargasses à l'aide de réseau de neurones hybrides |
| Encadrants (2 max, indiquer si HDR ou pas)* | C. Chevalier; |
| Laboratoire* | MIO |
| Programme finançant la recherche (indiqué si obtenu ou envisagé) (1) | SargAlert |

Contexte :

Depuis 2011, des algues brunes s'échouent massivement le long de la côte Est des Antilles. Ce phénomène revêt un caractère récurrent et s'intensifie ces dernières années (Figure 1).

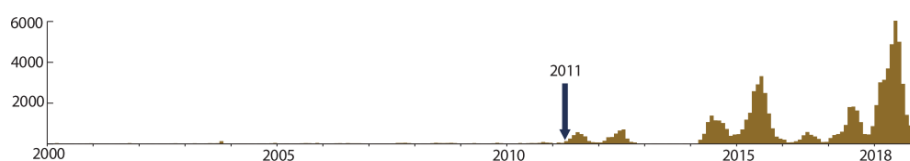


Figure 1 : Couverture surfacique moyenne mensuelle de sargasses dans la mer des Caraïbes et l'océan Atlantique central

Ces algues, sont *Sargassum natans* et *Sargassum fluitans* dites « sargasses ». Il s'agit d'algues flottant à la surface de l'océan, originaires de la « mer des sargasses ». A la faveur d'un changement de vent, elles sont descendues vers le Sud, et circulent, à présent, d'Est en Ouest de l'Atlantique sub-tropical, des côtes d'Afrique aux côtes d'Amérique, dans ce que l'on nomme désormais la « nouvelle mer des sargasses ». Lorsqu'elles sont poussées vers la côte, elles s'échouent. Ceci se produit généralement sur les côtes Nord de l'Amérique du Sud et des Petites Antilles (îles de la Caraïbe, du golfe du Mexique et du Sud-Est des États-Unis) ; et en Afrique de l'Ouest, entraînant des perturbations majeures tant sanitaires que environnementales.

En effet, en s'échouant, les sargasses dégradent la qualité physico-chimique des eaux proches côtières (diminution du pH et de l'oxygène dissous, augmentation de la turbidité), endommagent mécaniquement les habitats marins littoraux notamment les mangroves et les herbiers, elle. Elles privent l'accès aux plages pour les animaux terrestres ou marins comme les tortues luth et asphyxient la faune des plages (par exemple, les tortues juvéniles au moment de l'éclosion) ;

En outre, les sargasses ont une forte capacité d'accumulation des métaux lourds tel que l'arsenic qui sont ensuite libérés lors de leur dégradation et induisent la contamination de l'écosystème (sol, eau littorale, eau côtière) sur lequel les sargasses se trouvent.

D'un point de vue sanitaire, après 48 h à terre, la décomposition de la matière organique des algues produit de grandes quantités de gaz toxiques, dont le sulfure d'hydrogène (H₂S) et dans une moindre mesure l'ammoniaque (NH₃). Les conséquences sanitaires d'une exposition chronique ou répétée aux sargasses en décomposition sont peu connues. On observe toutefois un accroissement des malaises, des irritations conjonctivales et des voies respiratoires supérieures, des troubles digestifs, des céphalées, des syndromes vestibulaires, des pertes de mémoire et des modifications des capacités d'apprentissage dans les zones de forts échouements. Ainsi, aux Antilles, les femmes enceintes sont notamment invitées à quitter les villes fortement impactées. Enfin, cette détérioration environnementale se répercute sur les activités économiques des Antilles telles que le tourisme, la pêche ou l'immobilier.

A contrario, les sargasses pourraient être utilisées et exploitées pour leur pouvoir énergétique ou pour leur matière première pour fabriquer des bioplastiques, des briques et/ou des cartons par exemple (par exemple, projets de valorisation chez Suez, Sargasse Project, Terre d'algues ou projets de recherches développés au sein du L3MA ...). Afin d'éviter les effets nocifs, il est généralement recommandé de récolter les sargasses en mer. Toutefois, un tel investissement nécessite de pouvoir les récolter de façon continue et en quantité suffisante et donc de pouvoir prévoir leur localisation.



Figure 2 : exemple de carte diffusée sur un site touristique en Martinique (Voyage Martinique : <https://www.voyage-martinique.fr/sargasse.html>)

Aux Antilles, d'avril à septembre, la côte Est est envahie par ces algues. Face aux dangers environnementaux, sanitaires et économiques qu'elles représentent, les pouvoirs publics et acteurs locaux se mobilisent pour mieux comprendre, anticiper et endiguer le phénomène. Les scientifiques travaillent, notamment, à l'amélioration des prévisions et des bulletins d'alertes afin de permettre aux populations de s'adapter (évacuation, mise en place de barrages flottants ...) dans ce contexte difficile. C'est sur ce point que porte le sujet de thèse. L'objectif est d'améliorer les modèles de déplacements de radeaux existant, souvent basé sur des modèles mécanistes. En effet, en nous basant sur des mesures in-situ, des observations satellite, nous pouvons mettre en évidence des biais réalisés par les modèles de transport. D'un point de vue hydrodynamiques, de tels biais existent, mais n'ont généralement que peu d'impact pour la compréhension des courants : si le tourbillon est situé légèrement plus à l'Est ou plus à l'Ouest, n'a que peu de conséquence sur l'analyse. A contrario, lorsque l'objectif est le déplacement des radeaux, de tels biais se cumulent et engendrent des erreurs notables sur la prévision du transport. Il nous est donc nécessaire, dans l'optique de modéliser le déplacement de radeaux de sargasses de pouvoir corriger les erreurs sur l'hydrodynamique.

Objectif *: Modéliser le déplacement de radeaux de sargasses

Considérant que la forme, la taille et l'orientation des radeaux et agrégations observés par images satellite est révélateurs du vent et du courant, on souhaiterait que l'étudiant puisse développer un modèle de réseau de neurones, basé sur un apprentissage profond apprenant à corriger les données de forçages (données de vent et courant de surface), puis à reproduire correctement le déplacement. En outre, sans connaître précisément tous les processus de formations des radeaux, ces modèles seront, par construction, capables d'apprendre le comportement de tels radeaux. En théorie et dans les premières expériences, cet aspect semble prometteur. Les scores de fiabilités semblent supérieurs au modèle de réseau de neurones par rapport à un modèle de transport lagrangien.

Toutefois, pour assurer la fiabilité d'un modèle de réseau de neurones, il est indispensable de fournir suffisamment de données d'apprentissage. Ces données sont complexes à acquérir et nécessite une base de données manuelle importante de l'ordre de la dizaine de milliers de données, voir du million. Pour réduire ce nombre et améliorer l'aspect « physique » des résultats, nous souhaitons nous appuyer sur des **modèles de réseau de neurones hybrides** qui complètent les modèles de réseau de neurones « classiques » par des équations de physiques. Ces réseaux de neurones hybrides, nouvelle technologie, sont capables lors de la phase d'apprentissage d'intégrer des connaissances d'un autre domaine (sciences naturelles, physique, ...) en combinant les couches de convolution internes du réseau classique (CNN) à des couches basées sur des "équations" provenant des modèles de transport physiques et "mécanique". Typiquement, on pourrait inclure l'équation de continuité issue de la théorie de la mécanique des fluides dans la fonction de coût du réseau de neurones hybride. Cela assurerait la conservation de la matière tout en focalisant l'apprentissage sur des process que nous ne comprenons pas encore. Une autre solution est envisagée : il a été montré que le réseau gagnait en efficacité si au lieu de prévoir la position future du radeau, le modèle « prévoyait » le déplacement du radeau. Par contre, les déplacements ainsi déterminés étaient parfois un peu disparates et un modèle de diffusion de la vitesse (modèle tel Lava) et donc du déplacement pourraient améliorer de façon notable les résultats.

Pour implémenter de telles expériences, les tester, l'étudiant s'appuiera sur le jeu de donnée à l'échelle Atlantique issu d'images S3. Il pourra acquérir les données d'apprentissage par des données et des analyses manuelles d'images satellites mis à disposition dans le cadre de SargAlert (Modis, Sentinel) grâce à un outil développé à cet effet, mais il pourra aussi automatiser une analyse d'images qui suivrait automatiquement le même radeau, ainsi que son déplacement (méthode de flux-optique. Ceci est fiable sur des images Goes, mais aussi en couplant des images journalière Modis Terra et Aqua ou Sentinel S2 et S3.

Enfin, outre le travail de développement, un travail poussé d'évaluation de la qualité des résultats via des indicateurs pertinents devra être mis en place. En effet, les images satellite sont des outils fondamentaux pour la détection de radeaux, mais ces détections ne sont que partiel : tous les radeaux ne sont pas forcément détectés chaque jour (nuages, glint, mer agitée ...). Ainsi la comparaison d'une prévision et d'une image à la même date peuvent ne pas coïncider, uniquement du fait d'une mauvaise détection de Sargasses au début ou à la fin du déplacement. Un tel biais doit pouvoir être pris en compte pour l'évaluation des résultats.

Pour finir, de tels travaux ne sont utiles que s'ils peuvent être diffusé et mis au service de la population. L'étudiant travaillera en concertation étroite avec Météo France (Martinique) pour développer sur la base de cet outil un indicateur d'échouement associés aux bulletins d'alerte.

Détail du Programme finançant la recherche* :

- Projet ANR SargAlert (fin prévu 2028)
- FeF-R Sargasses avec le Mexique
- Financement prévu dans le cadre du Plan Sargasses 3 élaboré par le ministère

Directeur(s) de thèse proposé(s)*

(limiter au plus à deux personnes principales, dont au moins une titulaire de l'HDR)

Directeur HDR proposé*

Nom - Prénom : Chevalier Cristèle

Corps : CR

Laboratoire (i.e. formation contractualisée de rattachement, éventuellement équipe au sein de cette formation) :

Adresse mail : cristele.chevalier@mio.osupytheas.fr

Choix de cinq publications récentes (souligner éventuellement les étudiants dirigés co-signataires) :

2026-1. *Hugo Julia**, Dakis-Yaoba Ouédraogo, **Cristèle Chevalier***, Valérie Stiger-Pouvreau, Julien Jouanno, Victor David, Adán Salazar-Garibay, Marine Canesi, Frédéric Ménard, Holopelagic sargassum beachings in the Western Atlantic Ocean: a scoping review ranging from causes to management, *Environmental Research Letters*, ERL-122769.R2

2025-1. *Laval**, M.; Aimene, Y.; Descloîtres, J.; Courtrai, L.; Duarte-Neto, P.; Salazar-Garibay, A.; Costa da Silva, A.; Zongo, P.; Dorville, R.; **Chevalier, C.**, *The Influence of Wind on the Spatial Distribution of Pelagic Sargassum Aggregations in the Tropical Atlantic*. *Water* 2025, 17, 776. <https://doi.org/10.3390/w17060776>

2023-1. *Laval M**, Belmouhcine A., Courtrai L., Descloîtres J., Salazar-Garibay A., Schamberger L., Minghelli A., Thibaut T., Dorville R., Mazoyer C., Zongo P., **Chevalier Cristèle**. *Detection of Sargassum from Sentinel Satellite Sensors Using Deep Learning Approach*. *Remote Sensing*, 15 (4), 1104 [21 p.], DOI : <https://doi.org/10.3390/rs15041104>, Identifiant IRD : [fdi:010087462](https://doi.org/10.3390/rs15041104)

2022-1 *Podlejski W**, Descloîtres J., **Chevalier Cristèle**, Minghelli A., Lett Christophe, Berline L. (2022). *Filtering out false Sargassum detections using context features*. *Frontiers in Marine Science*, 9, p. 960939 [15 p.], DOI : <https://doi.org/10.1029/2021GL097484>, Identifiant IRD : [fdi:010086383](https://doi.org/10.1029/2021GL097484)

2022-2 *Sosa-Gutierrez R.**, Jouanno Julien, Berline L., Descloîtres J., **Chevalier Cristèle**. (2022). *Impact of tropical cyclones on pelagic sargassum*. *Geophysical Research Letters*, 49 (6), p. e2021GL097484 [7 p.]. ISSN 0094-8276. DOI : <https://doi.org/10.1029/2021GL097484> , Identifiant IRD : [fdi: 010084629](https://doi.org/10.1029/2021GL097484)

Thèses encadrées ou co-encadrées au cours des quatre dernières années*

Nom : Laval Marine

Intitulé : Influence des vents violents sur les radeaux de sargasses

Type d'allocation : région Antilles

Date de début de l'allocation de doctorat : Novembre 2021

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : décembre 2025

Programme finançant la recherche : Foresea ;

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) :

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 20%

Nom : Hugo Julia

Intitulé : dynamique de la pollution plastique et microplastique par une approche interdisciplinaire dans un contexte contraint - l'exemple du lagon de Mayotte

Type d'allocation : ½ bourse de thèse de l'institut Océan – ½ bourse financée dans le cadre du projet Bridges

Date de début de l'allocation de doctorat : Octobre 2025

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) :

Programme finançant la recherche : Plasma, Bridges, PP OM (à venir) ;

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : en cours

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 30%