

Offre de stage

Téledétection satellitaire pour la caractérisation, la cartographie et le suivi de la dynamique des champs de kelp des Iles Kerguelen (océan Indien subantarctique)

Contexte

Situées à l'interface terre-océan, les zones littorales et côtières constituent des milieux complexes et écologiquement riches, où se concentrent de forts enjeux en termes de conservation. Ces milieux fragiles subissent de nombreuses pressions, qu'elles soient directement liées aux activités anthropiques (e.g., trafic maritime, risque d'introduction d'espèces non-natives), ou induites par le réchauffement climatique global [1,2]. En zone subantarctique, les écosystèmes marins côtiers font partie des régions du monde où les changements de circulation atmosphérique et océanique ont été particulièrement marqués depuis le milieu du 20^{ème} siècle ; la région devrait par ailleurs continuer à se réchauffer au cours du 21^{ème} siècle en raison de l'augmentation de l'effet de serre [3,4,5]. Ces écosystèmes restent cependant peu étudiés malgré l'existence d'importants besoins en matière de données utiles aux politiques de gestion pour la protection de ces environnements isolés [6].

Les îles subantarctiques françaises concentrent une biodiversité exceptionnelle dont la valeur patrimoniale, mais aussi la fragilité ont conduit à la création de la Réserve Naturelle Nationale des Terres Australes Françaises en 2006, puis à son extension à l'ensemble de la zone économique exclusive en 2016, et son classement au patrimoine mondial de l'UNESCO en 2019. Avec une superficie totale de 1,6 million de km², il s'agit aujourd'hui de la seconde plus grande aire marine protégée au monde. Parmi ces territoires, l'archipel des Kerguelen est le plus vaste des Terres australes françaises. Pohl *et al.* [1] puis Buffet *et al.* [7] ont montré une forte influence des changements de circulation atmosphériques et des événements climatiques extrêmes sur les variables océaniques côtières mesurées aux Iles Kerguelen. La riche biodiversité des écosystèmes marins côtiers des Kerguelen est indissociable de l'existence d'importants champs de kelp constituant de véritables forêts sous-marines formées de l'espèce d'algue laminaire géante *Macrocystis pyrifera* [8]. Présente dans les eaux tempérées et subpolaires, cette espèce ingénieuse constitue l'un des écosystèmes les plus riches de la planète, remplit de nombreux services écosystémiques et favorise la diversité écologique [9,10]. Or, l'absence d'état des lieux et de suivi de tels écosystèmes en zone subantarctique a été souligné comme étant un frein majeur à la compréhension des dynamiques régionales [10]. Dans un contexte de changements climatiques de plus en plus prononcés en zone subpolaire, la caractérisation et le suivi des champs de kelp sont primordiaux, la dégradation de ces forêts sous-marines pouvant avoir des impacts majeurs sur la biodiversité, la structure et le fonctionnement des écosystèmes côtiers.

Objectifs et attendus

Les produits satellitaires optiques et radar constituent une source d'information déterminante pour établir un état des lieux et cartographier l'extension des champs de kelp, mais aussi pour caractériser leur dynamique spatiale et temporelle. Les objectifs du stage consisteront à :

- 1) développer une méthodologie de télédétection des champs de kelp combinant données satellitaires optiques et radar,
- 2) cartographier l'extension et la densité des champs de kelp de l'archipel de Kerguelen,
- 3) cartographier les variations interannuelles et saisonnières de ces champs de kelp,

Les résultats permettront la mise au point d'une méthodologie de télédétection, une production de cartographie diachronique de la couverture de kelp comprenant une restitution spatialisée des changements intervenus sur la période d'étude (période de disponibilité des données satellitaires), ainsi que l'analyse des résultats obtenus au regard des données climatiques (données Météo-France ou réanalysées) et océanographiques (données locales de température).

Méthodologie générale

Les frondes des algues atteignant la surface de l'eau, elles peuvent être observées par télédétection satellitaire [10]. Les imageries satellitaires à haute ou très haute résolution spatiale, telles que Sentinel 2 (Copernicus) ou Pléiades (Airbus Defense & Space), constituent des sources de données propices à la télédétection du kelp. A partir des produits de réflectance, les images seront analysées à travers une approche de segmentation et de classification par apprentissage machine. Les étapes préalables de correction des effets atmosphériques et de calcul d'indices spectraux feront l'objet de tests et de mise au point avant l'analyse des images. De plus, les imageries satellitaires radar telles que Sentinel 1 (Copernicus) seront utilisées de façon complémentaire pour pallier les lacunes des imageries optiques dues au fort couvert nuageux, fréquent aux îles Kerguelen, et aux embruns présents le long des côtes. Par ailleurs, des tests réalisés lors d'une campagne en 2021 à Kerguelen (programme Proteker) ont permis de valider les étapes d'estimation de densité du protocole de traitement des images satellitaires grâce à une collection de zones de référence sur le terrain (vérification terrain). Cela permettra de caractériser finement les couvertures d'algue à l'échelle des Kerguelen. Les prétraitements et l'analyse des données seront réalisés à l'aide des logiciels NV5 Geospatial ENVI, Trimble eCognition et ESRI ArcGis Pro qui seront mis à disposition du stagiaire.

Références

-
- [1] Pohl, B., Saucède, T., Favier, V., et al. (2021). Recent climate variability around the Kerguelen Islands (Southern Ocean) seen through weather regimes. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 60(5), 711-731.
 - [2] Hellmann, J. J. et al. (2008). Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conserv. Biol.* 22:534-543.
 - [3] Gutt, J., Bertler, N., Bracegirdle, T. J. et al. (2015). The Southern Ocean ecosystem under multiple climate change stresses - an integrated circumpolar assessment. *Global Change Biology*, 21(4), 1434-1453.
 - [4] Auger, M., Morrow, R., Kestenare, E. et al. (2021). Southern Ocean *in-situ* temperature trends over 25 years emerge from interannual variability. *Nature Communications*, 12(1), 514.
 - [5] Nel, W. (2023). The sub-Antarctic islands are increasingly warming in the 21st century. *Antarctic Science*, 35(2), 124-126.
 - [6] Xavier, J. C. et al. (2016). Future challenges in Southern Ocean ecology research. *Frontiers in Marine Science*, 3, 94.

- [7] Buffet V, B Pohl, HD Prince, V Favier, K Clem, T Saucède & V Jomelli (2025). Atmospheric Rivers at the Kerguelen Islands: A story through weather types. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 64, 299-315. doi:10.1175/JAMC-D-24-0018.1
- [8] Féral, J. P. [...] & Saucède, T. (2021). The marine vegetation of the Kerguelen Islands: history of scientific campaigns, inventory of the flora and first analysis of its biogeographical affinities. *Cryptogamie, Algologie*, 42(12), 173-216.
- [9] Miller, R. J., Lafferty, K. D., Lamy, T., et al. (2018). Giant kelp, *Macrocystis pyrifera*, increases faunal diversity through physical engineering. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1874), 20172571.
- [10] Mora-Soto, A., Palacios, M., Macaya, E. C. et al. (2020). A high-resolution global map of giant kelp (*Macrocystis pyrifera*) forests and intertidal green algae (Ulvophyceae) with Sentinel-2 imagery. *Remote Sensing*, 12(4), 694.
- [11] Belsher, T., & Mouchot, M. C. (1992). Evaluation, par télédétection satellitaire, des stocks de *Macrocystis pyrifera* dans le golfe du Morbihan (archipel de Kerguelen). *Oceanologica acta*, 15(3), 297-307.
- [12] Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P et al. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Q. J. Roy*, 146(730), 1999-2049.
- [13] Graham, M. H. et al. (2007). Global ecology of the giant kelp *Macrocystis*: from ecotypes to ecosystems. *Oceanogr. Mar. Biol.*, 45, 39-88.
- [14] Vrac, M. (2018). Multivariate bias adjustment of high-dimensional climate simulations: the Rank Resampling for Distributions and Dependences (R2D2) bias correction, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 3175–3196.

Modalités

Profil et compétences requises :

- Etudiant en Master 2 SIG/télédétection
- Connaissance des logiciels ArcGIS Pro et ENVI ou équivalents (SNAP, etc.)
- Intérêt marqué pour l'écologie
- Très bonnes capacités rédactionnelles et esprit de synthèse
- Autonomie et sens de l'organisation
- Bon relationnel et aptitude au travail en équipe

Encadrement : Thomas Saucède (CNRS, Université Bourgogne Europe | UMR BGS, Dijon), Damien Fourcy (INRAE | UMR DECOD, Rennes)

Equipe de recherche : Yann Lelièvre, Benjamin Pohl, Nadège Martiny (CNRS, Université Bourgogne Europe | UMR BGS)

Lieu du Stage : Université Bourgogne Europe | UMR BGS, Dijon

Durée : 6 mois de février 2026 à juillet 2026

Gratification de stage : Selon le barème en cours

Contacts :

thomas.saucede@u-bourgogne.fr

damien.fourcy@inrae.fr