

Sujet de Master 2

UMR 6539 LEMAR - Plouzané

Titre du projet

IsoArc – Isotopes stables et écologie trophique de l'Océan Arctique

Porteur 1

Loïc Harrault, Ingénieur de recherche CNRS

Laboratoire

LEMAR – Plateforme Lipidocean

Co-Porteur 2

Julie Landier, doctorante CNRS

Laboratoire

LEMAR – IRL 3376 Takuvik

Cursus / formations attendues de la future ou du futur stagiaire

Chimie analytique, Ecologie marine

Durée du stage

6 mois – janvier-juin 2026

Gratification

Oui

Contact

Envoyez votre CV et votre lettre de motivation à Loic.harrault@univ-brest.fr et à Julie.landier@univ-brest.fr

PROJET

Mots-clefs

Océan Arctique, réseau trophique, lipides, chimie analytique, isotopie stable de composés spécifiques

Axe thématique : Recherches polaires

L'analyse de la structure du réseau alimentaire arctique selon un gradient latitudinal [82 °N – 70 °N], du nord au sud de la baie de Baffin (nunavut, Canada), contribuera à une meilleure compréhension des flux de carbone au sein de l'écosystème arctique ainsi que de la sensibilité de ces derniers face aux changements climatiques. Le fonctionnement de cet écosystème arctique pourra être étudié, en se concentrant sur les relations trophiques des espèces clés

qui le composent et qui sont susceptibles d'être impactées par le changement climatique. A cette fin, l'étude de l'origine des acides gras polyinsaturés à longue chaîne (AGPI-LC), notamment l'EPA, le DHA et l'ARA, dans le réseau alimentaire fournira des informations cruciales sur la biodisponibilité de ces molécules essentielles, nécessaires à tous les échelons trophiques, incluant l'Homme. Par ailleurs, l'évaluation des flux de carbone au sein du réseau alimentaire tout comme l'origine des AGPI-LC contribueront à améliorer notre compréhension du rôle des différentes sources de production primaire au maintien des écosystèmes arctiques. Ces résultats pourraient avoir des implications importantes pour la compréhension du devenir des écosystèmes arctiques dans un contexte de dérèglement climatique entraînant la diminution progressive de la glace de mer. Enfin, à l'échelle régionale, une meilleure compréhension de la connexion entre l'écosystème de la glace saisonnière et les écosystèmes adjacents, tels que l'eau libre, émergera et pourra être mise en lien avec les communautés locales qui dépendent étroitement des ressources marines arctiques.

Descriptif du projet

État de l'art

L'Océan Arctique (OA) subit des variations saisonnières extrêmes de ses conditions environnementales de lumière et de température. Ces conditions engendrent une phénologie particulière des producteurs primaires, marquée par la présence de glace de mer de l'hiver au printemps, progressivement remplacée par des eaux libres durant l'été. Cette alternance d'habitats, entre glace et eau libre, favorise à la fois une biodiversité élevée et une forte endémicité dans l'Arctique.

Dans l'OA, la production primaire est principalement assurée par les algues de glace dans la glace de mer saisonnière et pluriannuelle, ainsi que par le phytoplancton en eaux libres de glace de mer (Ardyna and Arrigo, 2020 ; Lim et al., 2022). Ces deux sources contribuent au soutien du réseau alimentaire en fournissant de l'énergie carbonée et des molécules de haute qualité nutritionnelle, notamment des acides gras polyinsaturés à longue chaîne de la série n-3 (oméga-3 à longue chaîne ou AGPI-LC). Ces composants sont essentiels pour les membranes cellulaires des tissus des animaux, jouant un rôle vital dans de nombreuses fonctions physiologiques clés des organismes aquatiques et terrestres, y compris chez l'Homme. Les trois principaux AGPI-LC que sont l'acide eicosapentaénoïque (EPA), l'acide docosahexaénoïque (DHA) et l'acide arachidonique (ARA), sont faiblement synthétisés *de novo* par les animaux (Lands, 2009 ; Plourde and Cunnane, 2007). Ainsi, les teneurs en AGPI-LC dans les tissus des animaux proviennent principalement de leur alimentation (Brett and Müller-Navarra, 1997 ; Glencross, 2009). Dans le réseau alimentaire marin, ces molécules proviennent en grande majorité de leur synthèse par les producteurs primaires (Gladyshev et al., 2013 ; Hendriks et al., 2003). Tout changement de la production primaire, en termes de qualité et/ou de quantité, aura une incidence sur la dynamique des écosystèmes marins, avec des effets plus ou moins prononcés selon le niveau trophique des espèces qui les composent.

L'OA est également reconnu comme étant particulièrement sensible aux changements climatiques avec certaines régions qui subissent un réchauffement près de quatre fois supérieurs à la moyenne mondiale (IPCC, 2023). Au cours des 40 dernières années, l'étendue de la glace saisonnière a ainsi diminué de 10 à 15 % par décennie (Ardyna and Arrigo, 2020). Une autre conséquence du réchauffement climatique est l'augmentation des précipitations,

qui modifie la salinité et la stratification de la colonne d'eau (Michel et al., 2012). L'ensemble de ces processus influence la structuration et le fonctionnement des biomes liés à la glace de mer. Par exemple, la physico-chimie de l'eau de mer et de la glace conditionne la dynamique des producteurs primaires (algues de glace et phytoplancton) qui contribuent au maintien des écosystèmes arctiques (Amiriaux et al 2023a, b).

Les AGPI-LC sont souvent utilisés pour caractériser les transferts d'énergie au sein de différents écosystèmes. Cependant, ces analyses moléculaires ne suffisent pas toujours à déterminer l'origine des composés ni les interactions entre organismes marins. L'analyse des isotopes stables du carbone ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) à l'échelle moléculaire, ou analyse isotopique de composés spécifiques (CSIA), permet de distinguer un même composé à l'échelle atomique et d'apporter des informations sur son origine et son transfert au sein d'un réseau trophique. C'est particulièrement le cas pour les AGPI-LC, dont la signature ^{13}C renseigne sur l'origine de l'alimentation et peut notamment informer si les maillons trophiques arctiques supérieurs se nourrissent plus d'algues de glace ou de phytoplancton (Budge et al., 2008). Toutefois, les signatures ^{13}C des AGPI-LC des organismes marins peuvent également être insuffisantes pour étudier des processus de transfert trophiques. Pour y pallier, la CSIA peut être utilisée sur les isotopes stable de l'hydrogène ($^2\text{H}/^1\text{H}$), dont les signatures à l'échelle du composé lipidique peuvent renseigner sur la température, la salinité de l'eau et sur le métabolisme des communautés phytoplanctoniques. Cette approche se révèle particulièrement utile dans un environnement changeant et soumis à des masses d'eaux différentes comme la mer de Baffin.

Les analyses $^{13}\text{C}/^2\text{H}$ -CSIA d'AGPI-LC ou d'autres lipides requièrent un développement méthodologique et une instrumentation de haute précision (GC-c/p-IRMS) récemment acquise au laboratoire (Pilecky et al. 2023). Qui plus est, les analyses ^{13}C -CSIA ont très peu été utilisées en milieu Arctique, et les analyses ^2H -CSIA ne l'ont jamais été. Le traitement des données générées par CSIA ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ et $^2\text{H}/^1\text{H}$) nécessite un travail méticuleux d'analyse de signal, mettant en jeu des compétences en chromatographies en phase gazeuse et en spectrométrie de masse (Pilecky et al., 2024). Ainsi, l'analyse de grandes séries d'échantillons demande du temps et de la rigueur pour produire des données fiables.

Le but de ce stage sera de caractériser les transferts trophiques au sein de l'écosystème polaire. Pour ce faire, des échantillons (phytoplancton, zooplancton, poissons, autres) provenant de la campagne de prélèvement de 2025 récoltés à bord du NGCC Amundsen en mer de Baffin dans le cadre de la thèse de Julie Landier seront analysés par GC-FID/MS et GC-c/p-IRMS (^{13}C et ^2H). Afin d'aider à l'interprétation des données, des échantillons provenant d'autres écosystèmes et projets du laboratoire seront analysés comme références et échantillons tests. Un accent particulier sera mis sur l'origine des acides gras essentiels au bon fonctionnement du réseau alimentaire, notamment EPA, DHA, et ARA, qui peuvent provenir d'algues de glace, de phytoplancton ou d'autres sources.

Références

- Amiriaux, R., Mundy, C., Pierrejean, M., Niemi, A., Hedges, K.J., Brown, T.A., Ehn, J.K., Elliott, K.H., Ferguson, S.H., Fisk, A.T., 2023a. Tracing carbon flow and trophic structure of a coastal Arctic marine food web using highly branched isoprenoids and carbon, nitrogen and sulfur stable isotopes. *Ecological Indicators* 147, 109938.

- Amiraux, R., Yurkowski, D.J., Archambault, P., Pierrejean, M., Mundy, C., 2023b. Top predator sea stars are the benthic equivalent to polar bears of the pelagic realm. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 120, e2216701120.
- Ardyna, M., Arrigo, K.R., 2020. Phytoplankton dynamics in a changing Arctic Ocean. *Nature Climate Change* 10, 892-903.
- Brett, M., Müller-Navarra, D., 1997. The role of highly unsaturated fatty acids in aquatic foodweb processes. *Freshwater Biology* 38, 483-499.
- Budge, S. M., Wooller, M. J., Springer, A. M., Iverson, S. J., McRoy, C. P., Divoky, G. J., 2008. Tracing Carbon Flow in an Arctic Marine Food Web Using Fatty Acid-Stable Isotope Analysis. *Oecologia*, 157 (1), 117–129.
- Gladyshev, M.I., Sushchik, N.N., Anishchenko, O.V., Makhutova, O.N., Kolmakov, V.I., Kalachova, G.S., Kolmakova, A.A., Dubovskaya, O.P., 2011. Efficiency of transfer of essential polyunsaturated fatty acids versus organic carbon from producers to consumers in a eutrophic reservoir. *Oecologia* 165, 521-531.
- Gladyshev, M.I., Sushchik, N.N., Makhutova, O.N., 2013. Production of EPA and DHA in aquatic ecosystems and their transfer to the land. *Prostaglandins & other lipid mediators* 107, 117-126.
- Glencross, B.D., 2009. Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species. *Reviews in Aquaculture* 1, 71-124.
- Hendriks, I.E., van Duren, L.A., Herman, P.M., 2003. Effect of dietary polyunsaturated fatty acids on reproductive output and larval growth of bivalves. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 296, 199-213.
- IPCC, 2023. *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva, Switzerland.
- Lands, W., 2009. *Lipids in aquatic ecosystems. Human life, caught in the food web*, Springer, New York, 327-354.
- Lim, S.M., Payne, C.M., van Dijken, G.L., Arrigo, K.R., 2022. Increases in Arctic sea ice algal habitat, 1985–2018. *Elementa: Science of the Anthropocene* 10.
- Michel, C., Bluhm, B., Gallucci, V., Gaston, A.J., Gordillo, F.J.L., Gradinger, R., Hopcroft, R., Jensen, N., Mustonen, T., Niemi, A., Nielsen, T.G., 2012. Biodiversity of Arctic marine ecosystems and responses to climate change. *Biodiversity* 13, 200-214.
- Pilecky, M., Wassenaar, L. I., Taipale, S., Kainz, M. J., 2023. Protocols for Sample Preparation and Compound-Specific Stable-Isotope Analyses ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$) of Fatty Acids in Biological and Environmental Samples. *MethodsX*, 11, 102283.
- Pilecky, M., Kainz, M. J., Wassenaar, L. I., 2024. Evaluation of Lipid Extraction Methods for Fatty Acid Quantification and Compound-Specific $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^2\text{H}$ Analyses. *Analytical Biochemistry*, 687, 115455.
- Plourde, M., Cunnane, S.C., 2007. Extremely limited synthesis of long chain polyunsaturates in adults: implications for their dietary essentiality and use as supplements. *Applied physiology, nutrition, and metabolism* 32, 619-634.

Faisabilité du projet

Un chromatographe à phase gazeuse couplé à des fours de combustion et pyrolyse et un spectromètre de masse à rapports isotopiques (GC-c/p-IRMS) est présent au laboratoire, opérationnel et l'analyse des AGPI-LC en ^{13}C -CSIA s'y fait en routine. Dans le cadre du projet Arctic-Biome et de la thèse de Julie Landier, les échantillons polaires de la campagne de 2024 sont déjà au LEMAR et ceux de 2025 devraient arriver au premier trimestre 2026. Toute une

échantillothèque de lipides marins est d'ores-et-déjà prête à être analysée pour former l'étudiant aux techniques analytiques dès le début du stage.

Bénéfice stagiaire

Le stagiaire bénéficiera d'une formation complète sur un ensemble de techniques de pointe d'analyses de lipides et particulièrement sur un instrument hautement technologique (GC-c/p-IRMS). De plus, la nouveauté des analyses ^{13}C et encore plus ^2H par CSIA sur les acides gras et d'autres lipides en milieu Arctique les rendent potentiellement facilement valorisables par une publication et/ou des communications en conférences.