

## **Export Ice-Algae : Quantifying the impact of light stress on Ice Algae export capacity Quantifier la capacité d'export des algues de glaces face à un stress lumineux**

Co-encadrants : Brivaela Moriceau, CHIBIDO et Johann Lavaud, PANORAMA

B. Moriceau assurera l'encadrement pour ce qui concerne les mesures de production de mucus (TEP, CSP) de formation d'agrégats et de leur caractérisation (vitesse de chute, taille, composition)

J. Lavaud assurera l'encadrement pour ce qui concerne les cultures expérimentales (suivi croissance, microscopie), activité photosynthétique (fluorimétrie PAM) et analyses pigmentaires (HPLC).

### Contexte programmatique :

Ce stage se déroulera dans le cadre du projet 'CLIMARCTIC' 2022-28 ; PPR Océans, défi Polaire). Il implique des collaborations internationales avec R. Amiriaux (IRL Takuvik, Université Laval, Canada). CLIMARCTIC est coordonné par Camille Lique (LOPS) et B. Moriceau coordonne le WP2 qui prévoit l'étude des micro-algues de glace et de leur capacité à exporter du carbone et du silicium dans les conditions de changement climatique. CLIMARCTIC prévoit un financement de thèse sur ce sujet, mais pas de gratification de stage. Période de financement : 2023-24.

**Ce stage servira de mise au point des expériences de la thèse à suivre (2024-2027) ; co-supervision B. Moriceau et J. Lavaud, projet ClimArctic.**

### Contexte scientifique :

Le changement climatique impacte dramatiquement les environnements polaires. En Arctique, les nombreuses pressions environnementales modifient la dynamique et les assemblages du phytoplancton (Ardyna et Arrigo, 2020a). Les algues de glace sont les premiers producteurs primaires à se développer en Arctique suite à la nuit polaire. Injectant dans l'écosystème un pulse d'énergie nécessaire à l'éveil de l'écosystème. La diminution et l'amincissement de la couverture de neige et de la glace de mer, la fonte plus précoce de la banquise dans la saison sont autant de facteurs susceptibles de modifier le développement des blooms d'algues de glace, leur temporalité leur intensité, leur qualité nutritionnelle et leur capacité à exporter la matière dont elles sont formées. En augmentant de façon considérable la quantité de lumière dans les eaux de surface, ces changements conduisent à l'intensification des blooms pélagiques qui commencent plus tôt dans la saison, sous la banquise (Ardyna et al. 2020b). Les changements de lumière, des remontées plus conséquentes d'eaux atlantiques et l'augmentation des limitations en sels nutritifs sont autant de paramètres modifiant l'équilibre des blooms printaniers en arctique.

Avec leur plus faible contribution à la production de carbone, les algues de glace ont été moins étudiées que leur contrepartie pélagique. Et la majorité des études qui évaluent leur contribution aux cycles biogéochimiques et aux flux qui contrôlent leur dynamique, réalisent ces mesures dans de la glace fondue - des conditions très différentes de leur environnement naturel. Pourtant plusieurs études révèlent leur importance pour les maillons suivants de la chaîne trophique, et certaines espèces de zooplancton ne peuvent compléter leur cycle de croissance sans leur développement à une certaine période de l'année (Dezutter et al., 2019). Leur composition en lipides illustre une haute qualité nutritionnelle. De plus, leur tendance à former des agrégats très peu dégradables, pourraient leur permettre de contribuer à l'export de carbone en Arctique plus fortement que ne laisse présumer leur contribution à la production primaire arctique (Amiriaux et al., 2020).

Pour mieux évaluer l'évolution de l'écosystème Arctique et sa contribution au piégeage du carbone anthropique, le projet CLIMARCTIC dédie l'un des axes de son WP2 à l'étude des algues de glace et de leur capacité à exporter le carbone et la silice biogénique qu'elles contiennent et d'évaluer l'évolution de ces paramètres dans les conditions actuelles de changement climatique.

Dans ce projet, nous mettons l'accent sur la nécessité d'étudier ces producteurs primaires dans des conditions aussi proches que possible de leur milieu naturel, c'est-à-dire de la glace et non plus de la glace fondue et de les comparer aux contributions à la production des algues pélagiques. La capacité d'exporter du carbone et du silicium des diatomées qu'elles soient sympagiques ou pélagiques est étroitement liée à leur capacité à former des agrégats, la taille et la vitesse de sédimentation des

agrégats formés et leur résistance à la fragmentation. Nous chercherons à évaluer les changements que les modifications du climat (Ici la lumière) provoqueront sur ces paramètres si important pour prédire l'évolution de la capacité de l'océan arctique à contribuer à la pompe biologique de carbone.

CLIMARCTIC prévoit d'étudier l'impact des changements de lumière provoqués par la diminution de la couverture de neige - principal facteur de contrôle de l'intensité lumineuse disponible pour les algues sympagiques et pélagiques (Massicotte et al., 2020) sur :

- 1- Le développement des algues de glace (sympagiques).
- 2- Leur composition en molécules d'intérêt (lipides).
- 3- Leur production en molécules dissoutes ou colloïdales responsables de leur adhésion à la glace et précurseur de l'agrégation : des polysaccharides transparents (TEP) et des protéines (CSP).
- 4- Leur contribution au flux d'export de C et de Si (sédimentation vs dégradation).

#### Objectifs spécifiques :

Pour atteindre les objectifs de CLIMARCTIC, une première étape est (1) de tester et mettre au point la culture d'algues sympagiques dans des réacteurs de glace, puis (2) d'évaluer leur capacité à exporter du carbone et du silicium. La première partie de cet objectif sera effectuée lors d'un stage de M2 commençant en 2024. En parallèle à ces cultures en réacteurs de glace, ce deuxième stage se focalisera sur la capacité des différentes algues polaires disponibles au laboratoire à (1) former des agrégats, (2) la taille des agrégats formés ainsi que leur vitesse de dissolution, (3) la résistance des agrégats aux turbulences et (4) la vitesse de dégradation des agrégats formés.

Ces mesures seront réalisées dans des conditions de lumière variables, représentatives des conditions in situ provoquées par la diminution du couvert de neige sur la banquise.

Le LEMAR, par le biais de J. Lavaud et de ses collaborations à Takuvik, possède déjà 6 espèces de diatomées des glaces cultivées dans un incubateur prévu pour reproduire les conditions de température nécessaires (0-4°C). Ces différentes espèces seront testées dans un premier temps afin de sélectionner l'espèce modèle la plus adaptée à notre étude. De plus B. Moriceau a supervisé la création d'un laboratoire « agrégats » qui possède les tous derniers instruments idéaux pour étudier la dynamique de formation et de chute des agrégats phytoplanctoniques.

#### Compétences qui seront acquises pendant le stage :

- 1-Maitrise et suivi de cultures expérimentales.
- 2-Maitrise des analyses de mesure de TEP, CSP, Chlorophylle, POC, PON, bSi.
- 3- Maitrise de l'utilisation des rollers tanks et rollers tables du laboratoire agrégats
- 4- Analyse par imagerie du spectre de taille des agrégats formés et de leur vitesse de sédimentation, fragmentation

#### Principaux équipements :

-Enceinte et salle climatique pour la culture expérimentale de microalgues polaires et les expérimentations à suivre : possibilité de maintenir la température proche de 0°C avec la lumière allumée, contrôle du climat lumineux (photopériode, intensité et spectre) par éclairage LEDs (6 longueurs d'onde).

- Laboratoire 'agrégats' qui sera équipé rapidement d'un système de régulation précis de la lumière. Ce laboratoire est équipé du matériel nécessaire à l'analyse des polysaccharides (TEP) et protéines (CSP) colloïdales connues pour être les précurseurs de l'agrégation.

#### Publications récentes des co-encadrants en lien avec le projet :

Amiriaux R., Lavaud J., Cameron-Bergeron K., Matthes, L.C., Peeken I., Mundy C.J., Babb D.G. & Tremblay J.-E. (2022) Content in fatty acids and carotenoids in phytoplankton blooms during the seasonal sea ice retreat in Hudson Bay complex, Canada. In press.

- Amiriaux, R., Archambault, P., Moriceau, B., Lemire, M., Babin, M., Memery, L., et al. (2020). Efficiency of sympagic-benthic coupling revealed by analyses of n-3 fatty acids, IP25 and other highly branched isoprenoids in two filter-feeding Arctic benthic molluscs: *Mya truncata* and *Serripes groenlandicus*. *Org. Geochem.*, 104160. doi: 10.1016/j.orggeochem.2020.104160.
- Guérin S., Raguénes L., Croteau D., Babin M. & Lavaud J. (2022) Potential for the production of carotenoids of interest in the polar diatom *Fragilariopsis cylindrus*. *Marine Drugs*, 20: 491. <https://doi.org/10.3390/md20080491>
- Croteau D., Lacour T., Schiffrine N., Morin P.-I., Forget M.-H., Bruyant F., Ferland J., Lafond A., Campbell D.A., Tremblay J.-E., Babin M. & Lavaud J. (2022) Shift in growth light optima among diatom species support their succession during the spring bloom in Arctic. *Journal of Ecology*, 110:1356-75. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13874>
- Croteau D., Guérin S., Bruyant F., Ferland J., Campbell D.A., Babin M. & Lavaud J. (2021) Contrasting nonphotochemical quenching patterns under high light and darkness aligns with light niche occupancy in Arctic diatoms. *Limnology & Oceanography*, 66:5231-45. <https://doi.org/10.1002/lno.11587>
- Morin P.-I., Lacour T., Grondin P.-L., Bruyant F., Ferland J., Forget M.-H., Donaher N., Campbell D.A., Lavaud J. & Babin M. (2020) Response of the sea-ice diatom *Fragilariopsis cylindrus* to simulated polar winter darkness and spring-like return to light. *Limnology & Oceanography*, 65:1040-59. <https://doi.org/10.1002/lno.11368>
- Massicotte P., (...), Lavaud J., (...), Moriceau B., (...), & Babin M. (2020) Green Edge ice-camp campaigns: understanding the processes controlling the Arctic phytoplankton spring bloom. *Earth System Science Data*, 12:151-76. <https://doi.org/10.5194/essd-12-151-2020>
- Lavoie M., Saint-Béat B., Strauss J., Guérin S., Allard A., Hardy S., Falciatore A. & Lavaud J. (2020) Genome-scale modeling of metabolism in the polar diatom *Fragilariopsis cylindrus* underscores the strong robustness of growth rate in response to cellular perturbations. *Biology*, 9:30. <https://doi.org/10.3390/biology9020030>
- Laurenceau-Cornec E.C., Le Moigne F.A.C., Gallinari M., Moriceau B., Toullec J., Iversen M.H., et al. (2020). New guidelines for the application of Stokes' models to the sinking velocity of marine aggregates. *Limnology & Oceanography*, 65, 1264–85. <https://doi.org/10.1002/lno.11388>
- Lafond A., Leblanc K., Quéguiner B., Moriceau B., Leynaert A., Cornet V., et al. (2019). Late spring bloom development of pelagic diatoms in Baffin Bay. *Elementa: Science of the Anthropocene* 7:44. <https://doi.org/10.1525/elementa.382>
- Lacour T., Larivière J., Ferland J., Bruyant F., Lavaud J. & Babin M. (2018) The role of sustained photoprotective non-photochemical quenching in low temperature and high light acclimation in the bloom-forming Arctic diatom *Thalassiosira gravida*. *Frontiers in Marine Science*, 5:354. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00354>
- Lalande C., Moriceau B., Leynaert A. & Morata N. (2016). Spatial and temporal variability in export fluxes of biogenic matter in Kongsfjorden. *Polar Biology*, 39:1729-38. <https://doi.org/10.1007/s00300-016-1903-4>
- Toullec J., Moriceau B., Vincent D., Guidi L., Lafond A., & Babin M. (2021). Processes controlling aggregate formation and distribution during the Arctic phytoplankton spring bloom in Baffin Bay. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 9:00001. <https://doi.org/10.1525/elementa.2021.00001>
- Toullec, J., and Moriceau, B. (2018). Transparent Exopolymeric Particles (TEP) Selectively Increase Biogenic Silica Dissolution From Fossil Diatoms as Compared to Fresh Diatoms. *Front. Mar. Sci.* 5, 102. doi: 10.3389/fmars.2018.00102.

#### Références citées hors publications des co-encadrants :

- Ardyna M., K.R. Arrigo, 2020. Phytoplankton dynamics in a changing Arctic Ocean. *Nature Climate Change*, doi:10.1038/s41558-020-0905-y. // Ardyna M., et al., 2020a. Under-ice phytoplankton blooms: shedding light on the 'invisible' part of Arctic primary production. *Frontiers in Marine Science*, doi:10.3389/fmars.2020.608032. // Ardyna M., et al., 2020b. Environmental drivers of under-ice phytoplankton bloom dynamics in the Arctic Ocean. *Elementa: Science of the Anthropocene*, doi:10.1525/elementa.430. // Ardyna, M., et al., 2017. Shelf-basin gradients shape ecological phytoplankton niches and community composition in the coastal Arctic Ocean (Beaufort Sea). *Limnology and Oceanography*, doi:10.1002/lno.10554. // Arrigo, K.R., et al., 1999. Phytoplankton Community Structure and the Drawdown of Nutrients and CO<sub>2</sub> in the Southern Ocean. *Science*, doi:10.1126/science.283.5400.365. // Arrigo K.R. et al., 2010. Photophysiology in Two Major Southern Ocean Phytoplankton Taxa: Photosynthesis and Growth of *Phaeocystis antarctica* and *Fragilariopsis cylindrus* under Different Irradiance Levels. *Integrative and*

Comparative Biology, doi:10.1093/icb/icq021. // Assmy P., et al., 2017. Leads in Arctic pack ice enable early phytoplankton blooms below snow-covered sea ice. Scientific Report, doi:10.1038/srep40850. // Krause J. W., et al., 2018. Biogenic silica production and diatom dynamics in the Svalbard region during spring, Biogeosciences, doi.org/10.5194/bg-15-6503-2018. // Krause, J. W., Duarte, C. M., Marquez, I. A., Assmy, P., Fernández-Méndez, M., Wiedmann, I., et al. (2018). Biogenic silica production and diatom dynamics in the Svalbard region during spring. *Biogeosciences* 15, 6503–6517. doi: <https://doi.org/10.5194/bg-15-6503-2018>. // Passow U., Wassmann P., 1994. On the trophic fate of *Phaeocystis pouchetii* (Hariot): IV. The formation of marine snow by *P. pouchetii*. Marine Ecology-Progress Series, 104, 153–161. // Peperzak L., Gabler-Schwarz, S., 2012. Current knowledge of the life cycles of *Phaeocystis globosa* and *Phaeocystis antarctica* (Prymnesiophyceae). J. Phycology, doi.org/10.1111/j.1529-8817.2012.01136.x. // Riebesell, U., 1993. Aggregation of *Phaeocystis* during phytoplankton spring blooms in the southern North Sea. Marine Ecology-Progress Series, 96, 281–289. // Saiz E., et al. 2013. Zooplankton distribution and feeding in the Arctic Ocean during a *Phaeocystis pouchetii* bloom. Deep Sea Research Part 1, doi:10.1016/j.dsr.2012.10.003 // Wassmann P. 1994. Significance of sedimentation for the termination of *Phaeocystis* blooms. Journal of Marine Systems, doi:10.1016/0924-7963(94)90018-3. Dezutter, T., Lalande, C., Dufresne, C., Darnis, G., and Fortier, L. (2019). Mismatch between microalgae and herbivorous copepods due to the record sea ice minimum extent of 2012 and the late sea ice break-up of 2013 in the Beaufort Sea. *Prog. Oceanogr.* 173, 66–77. Massicotte, P., Amiraux, R., Amyot, M.-P., Archambault, P., Ardyna, M., Arnaud, L., et al. (2020). Green Edge ice camp campaigns: understanding the processes controlling the under-ice Arctic phytoplankton spring bloom. *Earth Syst. Sci. Data* 12, 151–176. doi: 10.5194/essd-12-151-2020.

\*\*\*\*\*