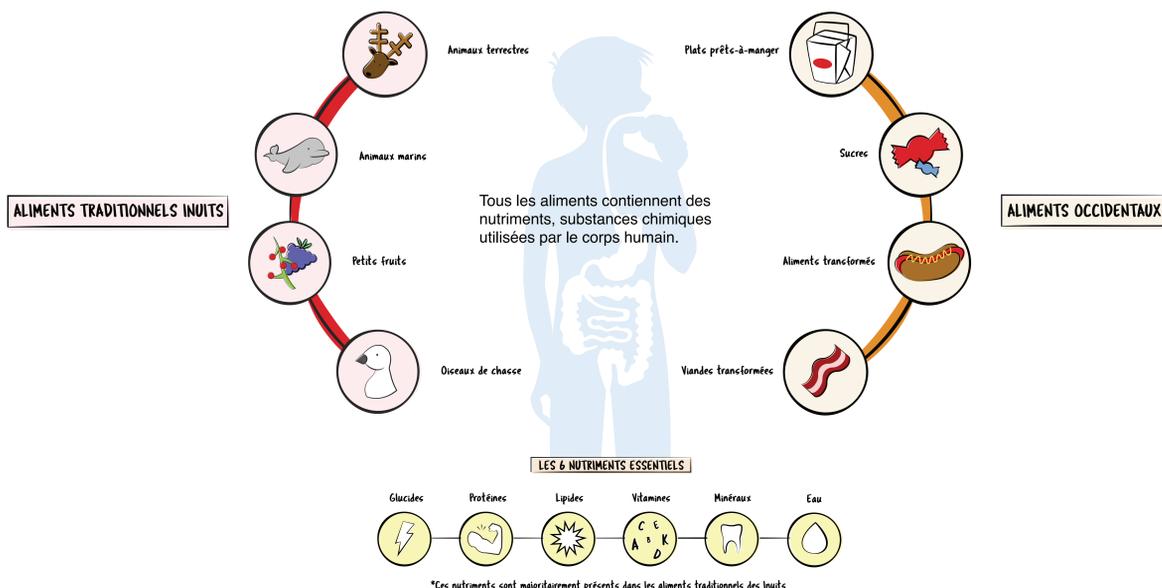




Que révéleront les changements dans l'alimentation des INUIT sur leur santé?

Au fil des décennies, le peuple inuit du Nunavik est devenu de plus en plus sédentaire. Ce nouveau mode de vie vient avec d'importants changements, surtout au niveau nutritionnel. Autrefois, l'alimentation des Inuits était basée traditionnellement sur la consommation de viandes chassées, de mammifères marins et de poissons. Aujourd'hui, avec l'apparition du transport et un plus grand contact avec les technologies, leur alimentation est désormais influencée par l'accessibilité des aliments du régime occidental. L'étudiante chercheuse de Sentinelle Nord Camille Daunizeau s'est intéressée de près aux déterminants du microbiote intestinal des jeunes Inuits du Nunavik. Elle croit que ces changements alimentaires pourraient avoir un grand impact sur le microbiote intestinal des Inuits, ce qui affecterait leur santé globale.

L'alimentation occidentale influence l'alimentation traditionnelle des Inuits. Ces deux types d'alimentation seront analysés lors de cette étude.

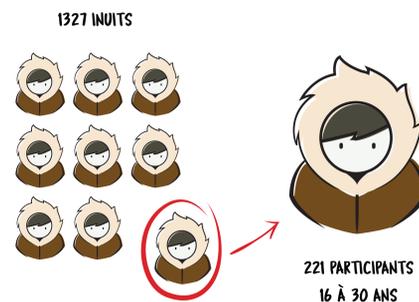


Une étape importante fut la sélection des participants et les méthodes de récolte de données.

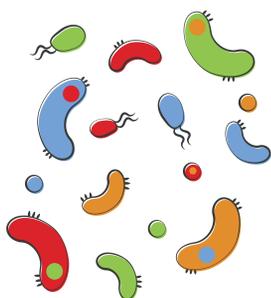
En 2017, une enquête *Qanuilirpitaa?* (Comment allons-nous maintenant?) a été réalisée auprès d'Inuit provenant du Nunavik.

Les participants ont effectué une série d'exams cliniques, de tests et de questionnaires.

Cette récolte de données a permis de choisir l'échantillon final qui prendrait part à cette étude.

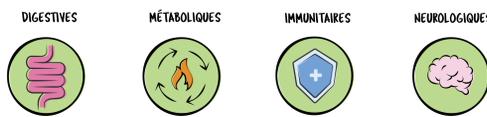


Qu'est-ce que le microbiote intestinal et comment est-il analysé?



Le **microbiote intestinal** est l'ensemble des micro-organismes (bactéries, virus, champignons, etc.) présents dans le système digestif (intestin grêle et côlon). L'équipe de chercheurs travaillera uniquement avec les **bactéries**. Un échantillon de microbiote intestinal est obtenu en récoltant les selles d'un individu.

IL PARTICIPE À 4 FONCTIONS DU CORPS HUMAIN



LA MÉTAGÉNOMIQUE SHOTGUN

Cette **technique d'analyse** a permis d'extraire et de fragmenter l'ADN des bactéries récoltées dans les échantillons de selles des participants. La **métagénomique shotgun** est beaucoup plus précise et performante que les techniques habituelles, car on peut séquencer tout l'ADN, pas seulement des régions courtes et spécifiques.

LES 3 GRANDES ÉTAPES DE L'APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE

FRAGMENTS D'ADN

RÉCOLTER

À cette étape, l'équipe de chercheurs récolte les fragments d'ADN précédemment extraits grâce à la **métagénomique shotgun**.

IDENTIFICATION DES RÉPÉTITIONS

TRIER

Un programme informatique ayant la capacité d'apprendre sans avoir été programmé à cet effet permet de trier les données grâce à une intelligence artificielle fondée sur des approches mathématiques et statistiques. L'**apprentissage automatique** permet d'identifier les répétitions à travers les données afin de les trier.

CATÉGORIES

CATÉGORISER

Après avoir trié les données, il est possible de les rassembler par catégories afin d'analyser les résultats obtenus. De cette manière, il sera possible d'établir des catégories, qui seront en fait différents régimes alimentaires. Ensuite, on pourra identifier les impacts de l'alimentation sur le microbiote intestinal.

Et maintenant?

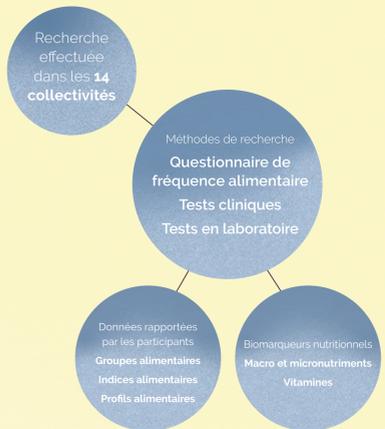
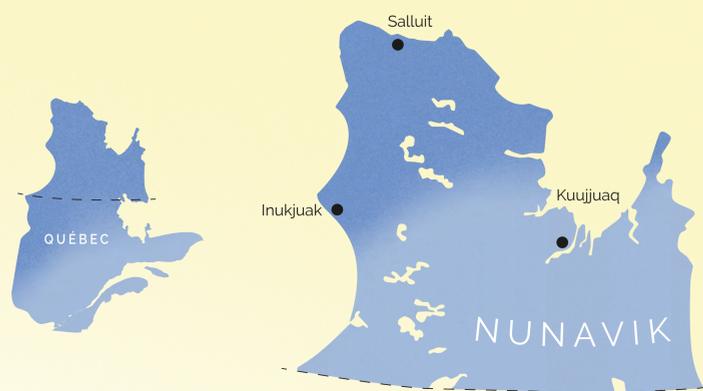
Grâce à l'utilisation des outils d'apprentissage automatique et des analyses statistiques, Camille pourra faire le lien entre l'alimentation et le microbiote intestinal.

Sources documentaires: D'Silva, G., Qi, C., Lavoie, F.J., et al. The Inuit gut microbiome is dynamic over time and shaped by traditional foods. *Microbiome*, 5, 151 (2017). <https://doi.org/10.1007/s12242-017-0270-7>. Jarboe KM, Carlsson EE, Gossens GH, et al. Dietary macronutrients and the gut microbiome: a precision nutrition approach to improve cardiometabolic health. *Gut* Published Online First 08 February 2022. doi: 10.1136/gut-2020-323719. Jiang, X., & Hu, X. (2017). Data Analysis for Gut Microbiota and Health. *Advances in experimental medicine and biology*, 1028, 79-87. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5041-8_5. Pharamandhad, L., Lueders, M., Dool, A., Bickel, J. F., & Radlowski, L. (2020). Statistical and Machine Learning Analysis on Nutritional Genomics Studies. *Nutrients*, 12(10), 3140. <https://doi.org/10.3390/nu12103140>. Kunitani, S. Y. (1991). Nutrition in the Inuit: A brief review. *Acta medica Scandinavica*, Suppl. 278-280. Cheng, R. W., Yan, D., Lee, K. M., Lichten, D., Wang, K., Abouk, M., Ibrahim, B., Nakagami, M., Zhu, T. H., Blaser, T., & Luo, W. (2017). Influence of diet on the gut microbiome and implications for human health. *Journal of translational medicine*, 15(1), 73. <https://doi.org/10.1186/s12957-017-1175-y>. Zhao, J., Li, Z., Gao, Q., et al. A review of statistical methods for dietary pattern analysis. *Nutrition*, 20, 31 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.nut.2017.02.005>

L'alimentation et le microbiote intestinal chez les jeunes Inuits du Nunavik

Les Inuits du Nunavik

Dans le nord du Québec, au bord de la **baie d'Hudson** et de la **péninsule d'Ungava**, se trouve le **Nunavik**. Sa population d'environ **14 000 habitants** est répartie dans **14 collectivités**, et **90% des habitants s'identifient comme Inuits**. Cette région est l'une des quatre terres ancestrales revendiquées par les Inuits du Canada surnommée le **territoire de l'Inuit Nunangat**.



NOMADE

SÉDENTAIRE

Un peuple nomade

À l'origine, les Inuits sont connus pour être un peuple près de la nature, malgré les conditions extrêmes que le Nord peut réserver. En raison de l'environnement glacial de la région, leur alimentation se base alors sur ce qui est disponible : la viande animale. Les Inuits devaient suivre le déplacement de la faune afin d'assurer leur survie et d'être en mesure de se nourrir. La pratique de la chasse, de la pêche et de la cueillette fait partie intégrante de leur **culture** et de leur **identité**.

Une faune riche

Les **mammifères marins**, le **gibier**, le **poisson**, les **oiseaux migrateurs** et **quelques plantes sauvages** sont alors leurs principales sources de nourriture, riche en protéines, en oméga-3 et en vitamines A, C, D, B9 et B12. Ce type d'alimentation, constitué de gras et de viande animale, et de peu de glucides se dit **cétogène**. Cependant, en consommant les produits de la chasse ou de la pêche dans leur **entièreté**, les Inuits vont chercher **tous les nutriments nécessaires à leur métabolisme** : leur corps est adapté à ce régime.

La sédentarité

Leur mode de vie subit une transformation depuis les premiers contacts avec les Européens, au 17^e siècle. Néanmoins, cette transformation est beaucoup plus visible depuis la **création artificielle de villages** par le Gouvernement du Canada vers 1950, forçant ainsi les premiers occupants à **laisser derrière eux leurs habitudes nomades pour devenir sédentaires**. Cela mène à une diminution de la variété d'animaux, surtout les mammifères, car il est plus difficile de suivre leur migration. Le peuple est donc pris avec ce qui est disponible et **subvient de moins en moins bien son apport nutritionnel**.

L'épicerie, bon pour tous?

L'apparition des **produits du marché** chez les peuples du Nord a malheureusement eu un effet plutôt **néгатif** chez ceux-ci. Même si les communications et le transport se sont améliorés avec le temps, le **prix excessif** des aliments et leurs **limitations** dans certains villages empêchent trop souvent l'achat de produits de qualité ayant de bons apports nutritifs et **augmentent la consommation de produits transformés**. Avec la chasse et la pêche rendues plus **difficiles** à cause de la sédentarité, et en raison des produits à prix exorbitants, certains vivent malheureusement dans l'**insécurité alimentaire**.

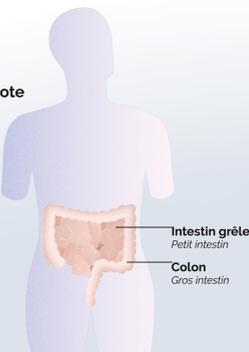
Quelles pourraient être les répercussions?

Ce changement progressif de la diète des inuits inquiète les professionnels.

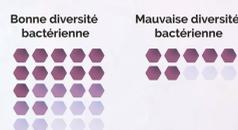
Des impacts sur le microbiote intestinal

Un microbiote est un ensemble de **micro-organismes, bactéries, virus, parasites et champignons non pathogènes** qui vivent dans un environnement spécifique.

Le microbiote intestinal est la communauté microbienne vivant dans le système digestif, plus particulièrement dans l'**intestin**.



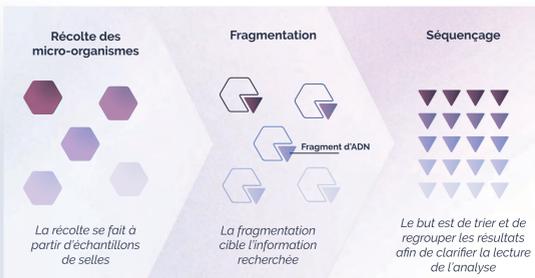
Un microbiote en santé contient une **abondance** et une **diversité** remarquable d'espèces bactériennes.



L'alimentation est le facteur principal de la santé du microbiote intestinal. Un **régime varié, riche en aliments naturels dits non transformés**, aidera davantage au développement de **bonnes bactéries** et à l'**abondance** de celles-ci, tandis qu'un régime comportant un nombre important d'**aliments transformés** aura l'effet inverse en contribuant au développement de **mauvaises bactéries** et d'une **faible diversité**.

Comment les données sont-elles récoltées?

La métagénomique **shotgun** est la méthode utilisée lors de cette étude afin d'**analyser** la composition du microbiote intestinal des jeunes Inuits dans l'intention de vérifier la **qualité** de celui-ci.



Grâce à cette méthode, les chercheurs sont en mesure d'**identifier les bactéries qui composent le microbiote intestinal**.

Il est alors possible de **connaître leur fonction** et de les associer à certains **facteurs de santé**.

Comme vu précédemment, les facteurs de diversité et d'abondance bactériennes permettent de déterminer si le **microbiote est en bonne santé**.

Par la suite, les données seront analysées plus en profondeur à l'aide d'**analyses statistiques**. Ce type d'analyse utilise des outils d'**apprentissage automatique** (Machine Learning), ce qui évite le surapprentissage (réduction du nombre de données trompeuses, redondantes), améliore la performance du modèle et du temps de calcul et aide à simplifier les hypothèses.

Ces analyses statistiques permettent donc de voir les **effets de l'alimentation sur la composition du microbiote intestinal**.

L'hypothèse de cette recherche est qu'un **régime traditionnel** serait associé à une meilleure diversité bactérienne et à une présence accrue, et que le tout, apporterait donc des effets **bénéfiques**, non seulement pour la santé digestive, mais également pour la **santé globale**.

Références

Dubois, G., Garret, C., Lapaquette, F.J., et al. The Inuit gut microbiome is dynamic over time and shaped by traditional foods. *Microbiome* 9, 151 (2021). <https://doi.org/10.1186/s40168-021-02707-7>

Jiang, X., & Hu, X. (2021). Data Analysis for Gut Microbiota and Health. *Advances in experimental medicine and biology*, 1028, 79-87. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6041-0_5

Khorramniafar, L., Luchessa, M., Dink, A., Blotescu, J.F., & Rudnikowska, I. (2020). Statistical and Machine-Learning Analyses in Nutritional Genomics Studies. *Nutrients*, 12(10), 3140. <https://doi.org/10.3390/nut12103140>

Kuhlein, H. V. (2021). Nutrition of the Inuit: a brief overview. *Arctic medical research*, Suppl, 728-730.

Singh, R. K., Chang, H. W., Yan, D., Lee, K. M., Ucmak, D., Wong, K., Abrouk, M., Farahnik, B., Nakamura, M., Zhu, T. H., Bhutani, T., & Liao, W. (2021). Influence of diet on the gut microbiome and implications for human health. *Journal of translational medicine*, 15(1), 73. <https://doi.org/10.1186/s12967-021-1475-y>

Zhao, J., Li, Z., Cao, D., et al. A review of statistical methods for dietary pattern analysis. *Nutrition* 113, 111-120 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.nut.2021.02.006>

Lamotte, A. (2020). Géographie du système alimentaire des Inuits du Nunavik : du territoire nomade au supermarché. 14, 35, 20. Thèse de doctorat en géographie, Université de Montréal, Papyrus. <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/24633>

Blanchet, C., Rochette, L. (2008). Nutrition et consommation alimentaire chez les Inuits du Nunavik. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/318>

Robinson, A. (2018). Nouriture traditionnelle au Canada. L'Encyclopédie canadienne. <https://www.thecanadencyclopedia.ca/fr/article/nouriture-traditionnelle-au-canada>

Pourquoi s'intéresser au pergélisol ?

Les impacts de son dégel au Nunavik

Il n'est plus possible de se fermer les yeux face aux changements climatiques. Leurs conséquences se font déjà ressentir partout sur la planète: feux de forêt, inondations, vagues de chaleur extrêmes, ainsi de suite. Ce qui est peut-être méconnu c'est l'incidence grave qu'ils ont ici, en territoire québécois et plus particulièrement dans la région du Nunavik, qui abrite 15 communautés autochtones.

L'enjeu est majeur pour les habitants du Nord: leur mode de vie s'en voit affecté de façon deux fois plus importante par rapport à un résident de la ville de Québec.

La disproportion importante de la qualité de vie des habitants du nord du Québec par rapport à ceux du sud est bien connue. L'accès à l'eau

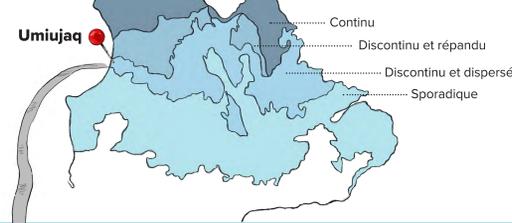
potable est l'un des enjeux majeurs auxquels ils font face. Il s'agit d'une aberration dans un pays développé comme le Canada.

Les actions pour régler ce problème sont insuffisantes et les solutions semblent difficiles à cerner et à appliquer.

Un potentiel d'exploitation d'eau négligé à tort?

Une solution réelle et tangible existe toutefois et elle se trouve sous nos pieds. Il suffit de s'y attarder. C'est pourquoi il est impératif de s'intéresser urgemment au dégel du pergélisol en régions nordiques et aux ressources d'eau souterraine qu'il libère.

Zones de pergélisol au Nunavik



Situation actuelle

Situation future Changements climatiques et hausse des températures

Au Nunavik, les ressources en eau potable proviennent de...

1...sources d'eau de surface (lacs et rivières)

L'eau est récoltée pour ensuite être transportée par camion-citerne jusqu'aux résidences de la communauté.

Risques

- gel
- tarissement
- contamination

2...ressources en eau souterraine

Elle est plus difficile d'accès et les infrastructures ne peuvent pas être construites dans toutes les zones de pergélisol. Elle est exploitée seulement dans deux villages du Nunavik.

Les changements climatiques ont des impacts sur...

...les conditions de vie

- Période de chasse diminuée
- Accès au territoire de plus en plus limité
- Exposition des communautés aux intempéries

...les infrastructures

- Les tassements (affaissements du sol) causés par le dégel du pergélisol affectent la structure des :
 - Bâtiments
 - Routes
 - Pistes d'atterrissage

...l'arborescence

- Propagation des arbustes vers le nord
- Envasement de la toundra et fragilisation de la flore

...la faune

- Habitats naturels perturbés



Butte de pergélisol

Le pergélisol agit comme barrière qui empêche l'eau souterraine de s'écouler. La dégradation du pergélisol, causée par les changements climatiques, libère le sol de sa glace et permet à l'eau souterraine de s'y écouler.

Il y a alors présence de portions non gelées dans le pergélisol qui sont nommées **taliks** et qui font partie de la structure hydrogéologique.

Le cycle de l'eau en régions nordiques est donc en transition d'un régime d'écoulement de surface principalement estival vers un régime d'écoulement souterrain soutenu durant toute l'année.

Schéma d'une butte de pergélisol

Une solution potentielle pour Umiujaq

Un potentiel d'exploitation des eaux souterraines, précédemment impossible, est désormais sérieusement envisageable pour la communauté d'Umiujaq.

L'eau souterraine de l'aquifère est protégée des sources de contamination extérieures.

Résultat: une eau plus sécuritaire et plus durable que l'eau de surface.



2...ressources en eau souterraine

Une eau plus propre que les autres sources et qui ne nécessite pas de traitement!

Plus grande transmission de chaleur par ADVECTION

Dégradation des buttes de pergélisol discontinu de la vallée de Tasiapik

L'augmentation de la température moyenne annuelle de l'air entraîne une dégradation du pergélisol, libérant des voies d'écoulement.

En période estivale, l'eau qui s'infiltré dans l'aquifère est conséquemment plus chaude, ce qui perturbe aussi le régime thermique du pergélisol. Cet écoulement d'eau souterraine en accélère l'érosion thermique.

Sans investissement et implication en recherche, cette solution n'est pas envisageable

La question qui se pose maintenant : quand est-ce que le forage commencera?

Malheureusement, peu d'intérêt semble présent pour concrétiser de tels projets. Il faudra attirer l'attention des différents acteurs pour les convaincre de s'intéresser à ce phénomène fascinant.

Pour y arriver, il faut donc déployer des équipes qui étudieront la composition du sol du Nunavik.

DONC, pourquoi doit-on s'intéresser au pergélisol?

Parce qu'il renferme une solution incroyablement ingénieuse à ce besoin criant d'approvisionnement en eau, juste sous nos pieds!

Design et conception
Andrée-Anne Binette et Catherine Chriscella Jean-Baptiste

En collaboration avec
Philippe Fortier

Faculté d'aménagement,
d'architecture, d'art et de design
École de design



AMAP (2017). Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA) 2017 Arctic Monitoring and Assessment Program (AMAP). Retrieved from <https://www.amap.no/doc/publications/updates-climate-change-update-2017/160>.
 Diagaruk, S., Morsini, J., Lemieux, J.-M., Fortin, R., & Therrien, R. (2020). Coupled cryo-hydrogeological modeling of permafrost dynamics near Umiujaq (Nunavik, Canada). *Hydrogeology Journal*, 28, 813-832. <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02713-7>.
 Fortin, R., Lemieux, J.-M., Tardif, P., Morsini, J., Therrien, R., & Therrien, R. (2014). Hydrogeology of an basin versus dans une vallée près d'Umiujaq, Nunavik (Québec) submitted to Department of Environment of Québec, 253 p.
 Lemieux, J.-M., Fortin, R., Morsini, J., Therrien, R., & Therrien, R. (2016). Groundwater occurrence in cold environments: examples from Nunavik. *Hydrogeology Journal*, 24(6), 1487-1503. <https://doi.org/10.1007/s10040-016-0491-1>.
 Lemieux, J.-M., Fortin, R., & Fortin, R. (2019). A conceptual model for estimating the impact of land-use evolution on groundwater recharge in degrading permafrost environments. *Geophysical Research Letters*, 46, e2019GL083795. <https://doi.org/10.1029/2019GL083795>.
 Young, N.L., Wilkerson, M.A., Voss, C.I., & Fortier, R. (2021). Hydrogeology and permafrost dynamics of a degrading lithika near Umiujaq (Nunavik, Canada): insights from long-term monitoring. Presentation orale, 2021. Regional Conference on Permafrost & 19th International Conference on Cold Regions Engineering, 24 au 29 octobre 2021, Fortier, R., Young, N.L., Lemieux, J.-M., Wilkerson, M.A., & Fortier, R. (2022). Long-term, high-resolution permafrost monitoring reveals coupled energy balance and hydrogeologic controls on ephemeral talik dynamics near Umiujaq (Nunavik, Québec, Canada). *Sources & Water Resources Research*, 18, 1-16. <https://doi.org/10.1029/2021WR030001>.

LE PERGÉLISOL : un dégel inquiétant

C'EST QUOI ÇA ?

Le pergélisol correspond à un sol ou à de la roche ayant une température égale ou inférieure à 0 °C pendant au moins deux ans. Autrement dit, le sol est gelé en permanence.

Le pergélisol peut se situer dans le roc ou dans les dépôts sédimentaires tels que le sable et le silt qui est un mélange de sable et d'argile.

Le pergélisol est important pour le Canada, car il couvre près de 50 % de la superficie du territoire. Il se trouve principalement dans l'archipel de l'Arctique, du Yukon, des Territoires du Nord-Ouest, du Nunavut et du Nord-du-Québec.

Le dégel du pergélisol

Actuellement, l'augmentation des températures est deux fois plus rapide dans les régions nordiques, arctiques et subarctiques qu'ailleurs sur Terre. Ce réchauffement est causé par les changements climatiques.

Des équipes de recherche interdisciplinaires tentent de mieux comprendre cet environnement en changement. Les équipements, qui sont représentés dans l'illustration de droite, servent à effectuer le suivi des conditions du spergélisol et des eaux souterraines dans le sol.

Umuijaq est un village qui a été fondé en 1986 dont le nom signifie « qui ressemble à un bateau ».

Le village est d'environ 390 habitants. Cette région possède une grande diversité dans le domaine de la faune avec les nombreuses populations d'oiseaux, de poissons, de phoques et de bélugas. La région étant dans l'extrême Nord, le développement de divers infrastructures, dont un aqueduc, est difficile en raison du pergélisol. L'approvisionnement en eau potable se fait donc par un camion, qui doit venir chaque jour pour en distribuer à la population. L'accès à l'eau potable est donc difficile et le processus est très coûteux.

Les travaux de recherche sont effectués près du village d'Umuijaq, dans la vallée Tasiapiq. Cette vallée contient un réseau complexe d'instruments de suivi des conditions du pergélisol et de l'eau souterraine.

Crédits

Chercheur
Philippe Fortier

Conception et réalisation graphique
Laurie Fontaine et Noémi Gendron

Sources :

AMAP (2017). Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA) 2017. Arctic Monitoring and Assessment Program (AMAP). Retrieved from <https://www.iamap.no/documents/snow-water-ice-and-permafrost-in-the-arctic-2017-1616>

AMAP (2019). Arctic Climate Change Update 2019: An Update to Key Findings of Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA) 2017. Arctic Monitoring and Assessment Program (AMAP). Retrieved from <https://www.iamap.no/documents/snow-water-ice-and-permafrost-in-the-arctic-2019-1761>

Degens, S., Molson, J., Lemoine, J.-M., Fortier, P., & Therrien, R. (2020). Coupled cryohydrogeological modelling of permafrost dynamics near Umuijaq (Nunavut, Canada). *Hydrogeology Journal*, 28, 887-904.

Fortier, P., Benik, D., Lévesque, R., Lemoine, J.-M., Molson, J., Therrien, R., & Cocherd, M. (2020). Development of a three-dimensional geological model, based on Quaternary chronology, geological mapping, and geophysical investigation, of a watershed in the discontinuous permafrost zone near Umuijaq (Nunavut, Canada). *Hydrogeology Journal*, 28, 813-832.

Fortier, P., Lemoine, J.-M., Talbot Poelin, M.-C., Barville, D., Lévesque, R., Molson, J., & Therrien, R. (2014). Hydrogéologie d'un bassin versant dans une vallée près d'Umuijaq, Innuvutik Phase IIB: Deployment Report submitted to Department of Environment of Québec, 297 p., 4 cartes des dépôts quaternaires.

Lemoine, J.-M., Fortier, P., Karna, R., Degens, S., Cocherd, M., Delétre, H., Therrien, R., Molson, J., Pyet, A., & Parhizkar, M. (2020). Groundwater dynamics within a watershed in the discontinuous permafrost zone near Umuijaq (Nunavut, Canada). *Hydrogeology Journal*, 28, 833-851. <https://doi.org/10.1007/s11004-020-02110-4>

Lemoine, J.-M., Fortier, P., Talbot Poelin, M.-C., Molson, J., Therrien, R., Cocherd, M., Barville, D., Cocherd, M., & Murray, R. (2016). Groundwater occurrence in cold environments: examples from Nunavut. *Hydrogeology Journal* 24(6) 1497-1513. <https://doi.org/10.1007/s11004-016-1411-7>

Pelletier, M., Allard, M., & Lévesque, É. (2018). Ecosystem changes across a gradient of permafrost degradation in subarctic Québec (Tasiapiq Valley, Nunavut, Canada). *Arctic Science*, 3(1), 1-20.

Young, N.L., Lemoine, J.-M., Delétre, H., Fortier, P., & Fortier, P. (2020). A conceptual model for anticipating the impact of landscape evolution on groundwater recharge in degrading permafrost environments. *Geophysical Research Letters*, 47, e2020GL087695. <https://doi.org/10.1029/2020GL087695>

Fortier, P., Lemoine, J.-M., Young, N.L., Walcott, M.A., Voss, C.L., & Fortier, P. (2021). Hydrogeology and permafrost dynamics of a degrading lithalia near Umuijaq (Nunavut, Canada): insights from long-term monitoring. Presentation orale, 2021 Regional Conference on Permafrost & 19th International Conference on Cold Regions Engineering, 26 au 29 octobre 2021.

Fortier, P., Young, N.L., Lemoine, J.-M., Walcott, M.A., & Fortier, P. (2022). Long-term, high-resolution permafrost monitoring reveals coupled energy balance and hydrogeologic controls on ephemeral table dynamics near Umuijaq (Nunavut, Canada). *Soil & Water Resources Research* 18, 28 mars 2022.



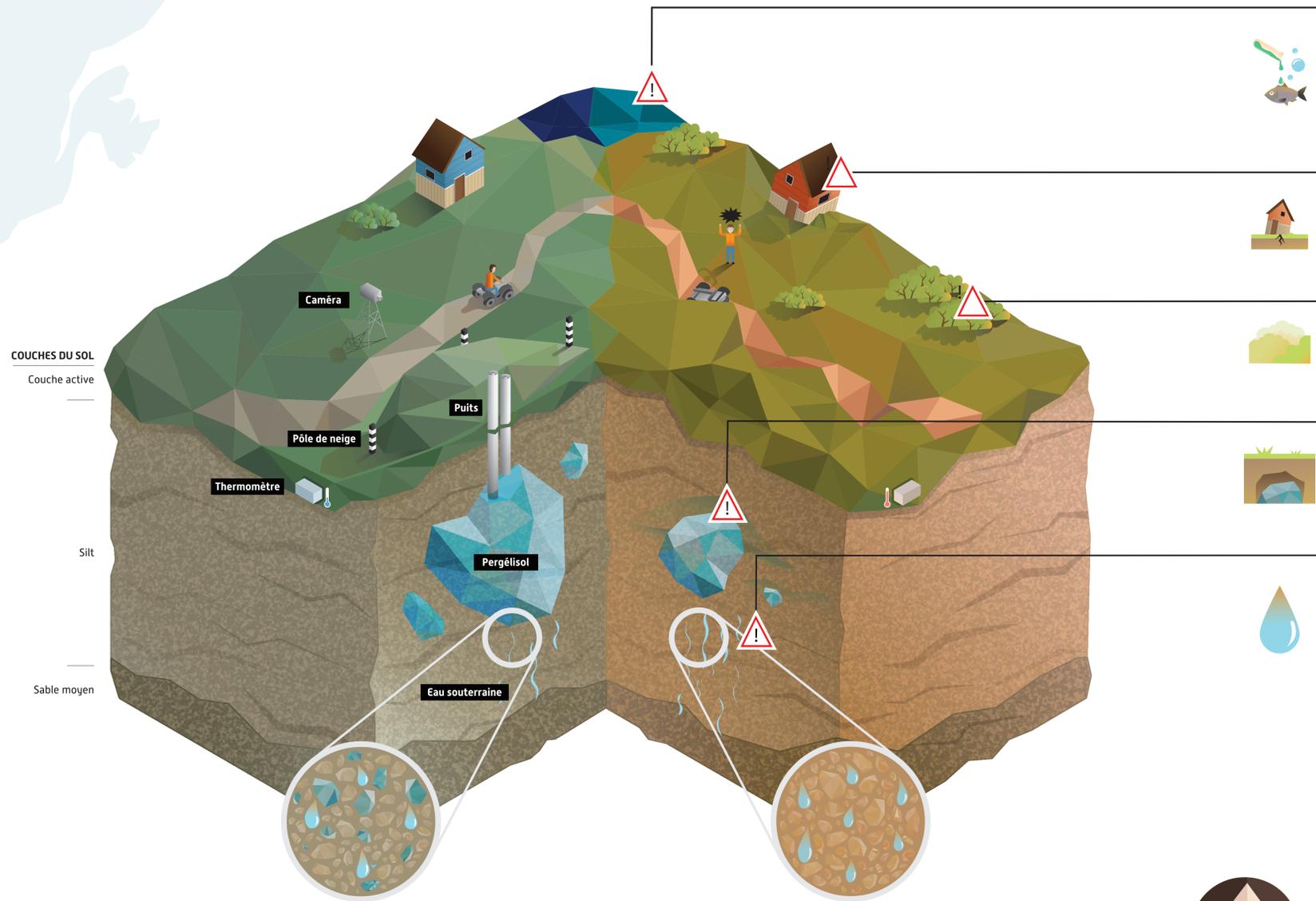
2005

Avant le dégel



Présent

Pendant le dégel



Acidification des eaux

Le dégel accroît le développement des bactéries dans le sol, qui étaient préalablement gelées dans le pergélisol. Ces bactéries se nourrissent de déchets organiques et produisent du gaz à effet de serre, qui remonte à la surface. La libération des gaz cause aussi l'acidification des océans, et modifie considérablement l'écosystème marin.



Instabilité du sol

Le sol devient instable lorsque certaines couches du sol s'affaiblissent en raison du dégel. Les maisons, les aqueducs ou bien les routes peuvent s'effondrer, ce qui affecte directement les communautés du Nord.



Arbustification

L'arbustification est la hausse de la quantité d'arbustes en raison de l'augmentation de la présence de l'eau disponible dans ces régions.



Talik

Un talik est une zone non gelée qui se retrouve dans un environnement de pergélisol. On le retrouve dans la couche du silt. La formation du talik est créée par la dégradation du pergélisol ainsi que la difficulté d'infiltration du gel saisonnier dans le sol.



Les eaux souterraines

Les changements climatiques et le dégel du pergélisol causent des modifications importantes dans la structure hydrogéologique des sols (les eaux souterraines). La libération de cette structure permet l'écoulement de l'eau souterraine, ce qui peut contribuer davantage au dégel du pergélisol. Cependant, cela la rend aussi plus accessible, et offre un potentiel d'exploitation.



LES ÉQUIPEMENTS...



PÔLE DE NEIGE

Mesure la couche de neige à travers plusieurs paliers inscrits sur le pôle. Permet aussi de délimiter le site de recherche et de le retrouver.



PUITS

Structure dans le sol qui mesure le niveau de l'eau présente dans les différentes couches de la terre.



THERMOMÈTRE

Permet de mesurer la température du pergélisol afin d'analyser les données au fil des années. Les thermomètres ne sont pas visibles, puisqu'ils sont placés sous terre.



CAMÉRA

Permet de visualiser les changements physiques du terrain à distance.



Pour l'avenir!

La dégradation du pergélisol cause de nombreux problèmes en régions nordiques. Puisque ces régions sont généralement difficiles d'accès, les efforts de recherche peuvent être limités. Les prédictions de dégradation du pergélisol représentent toujours un défi important.

Cependant, il est important de noter que les conséquences du dégel du pergélisol ne sont pas seulement négatives. En effet, la libération des structures hydrogéologiques en réponse au dégel du pergélisol représente une occasion d'exploitation de l'eau souterraine comme source d'eau potable pour les communautés nordiques.

Malgré cette réalité, l'accès à une source d'eau potable durable représente toujours un enjeu important pour sces communautés en raison de l'absence d'installations permettant l'exploitation de l'eau souterraine.

Faire la lumière sur les fonds marins grâce au laser LiDAR

La lumière visible

Le rayonnement photosynthétique actif est la gamme de longueurs d'onde lumineuse qui convient le mieux à la photosynthèse. La photosynthèse est un processus qui nécessite de l'énergie lumineuse, elle se produit de manière optimale dans la plage de 400 à 700 nanomètres (nm) et est également connue sous le nom de lumière visible.



Lorsque la lumière visible atteint la terre, une surface absorbe ou réfléchit différentes longueurs d'onde, produisant une couleur visible. La longueur d'onde réfléchie par une surface est la couleur qu'elle semble avoir. Si la surface réfléchit l'ensemble des longueurs d'onde visibles, elle apparaîtra blanche.

La plupart des plantes apparaissent vertes, car la chlorophylle dans leurs cellules reflète la lumière verte. Sur terre, les plantes utilisent presque toute la gamme visible pour la photosynthèse. Cependant, même sous l'eau lorsque seule la lumière bleue est disponible, la photosynthèse peut toujours se produire.

Un écosystème arctique en pleine mutation

Le réchauffement climatique est une réalité à laquelle nous devons faire face depuis les années 1900. Depuis un certain temps, celui-ci s'est intensifié surtout dans la région de l'Arctique. Ce territoire subit des changements trois fois plus rapidement que le reste de la planète. Une augmentation de deux degrés Celsius sur la température de l'eau est enregistrée depuis les années 1900. Des changements sur le relief des côtes et dans les fonds marins sont causés par la diminution de la banquise, qui peut entraîner un changement de luminosité dans l'océan. Cette perte du territoire arctique a des conséquences à bien des égards.

Recherchez ce symbole! Il vous permettra d'identifier les conséquences du réchauffement climatique sur l'écosystème arctique.

Un sous-marin muni d'un LiDAR

Un sous-marin autonome peut être un outil très utile pour étudier le milieu marin. Plusieurs modèles de différentes tailles existent. Il est possible de leur intégrer toutes sortes d'instruments scientifiques permettant d'explorer les océans. Dans ce cas-ci, il lui a été ajouté un système d'imagerie laser nommé LiDAR.

Ce LiDAR est principalement composé d'une source laser pulsée qui est allumée et fermée très rapidement correspondant à une longueur d'onde (ou couleur) particulière. C'est en balayant ce laser de gauche à droite dans une direction, par exemple, vers le fond marin qu'il va illuminer des surfaces et enregistrer ce qu'il voit sous forme d'images.

L'ajout de filtres à lumière spéciale sur ses détecteurs permet de détecter les objets ou surfaces à distance par leur réflectance ou fluorescence. De plus, puisque l'on connaît le moment où chaque pulse laser est envoyé, il est possible d'estimer le temps de va-et-vient de la lumière entre le LiDAR et l'objet ou surface dans l'eau. Avec beaucoup de calculs, le fond marin peut ainsi être recréé sous forme de nuage de points 3D.

Sous-marin vs plongeur



Matthieu Houé (Docteur en biogéochimie), Département de biologie, Université Laval, 105, Av. de la Médecine, Québec, QC, H3S 1A6, Canada. matthieu.houe@ulaval.ca

Visualisation d'information | Conception et réalisation graphique: Frédéric Bédard, Charles-Antoine Boudreau, 2022.

Diminution de la glace sur les côtes.

Les zones côtières sont moins protégées.

La réduction du couvert de glace en région côtière peut engendrer une hausse de suspension des sédiments et obstruer la colonne d'eau, limitant la transmission de lumière.

Dans les zones où la lumière se fait plus rare, on peut observer une diminution d'abondance chez certaines espèces, voire une disparition locale lorsque celles-ci sont moins adaptées au manque de lumière.

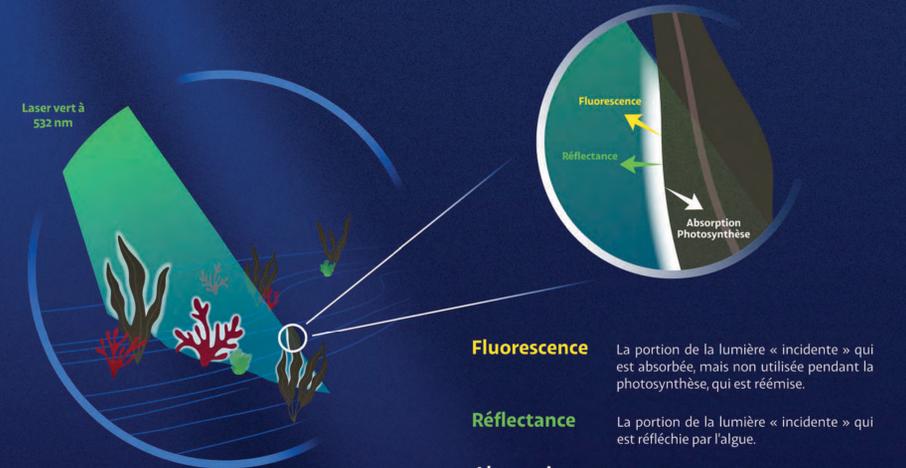
La fonte des glaces permet une meilleure transmission de lumière dans la colonne d'eau.

La détection par fluorescence

Le principe de photosynthèse et de fluorescence permettra de détecter les algues dans les fonds marins et ainsi révéler l'état de la situation actuelle et les changements dans ces milieux benthiques. De plus, les premières recherches faites par l'équipe permettraient de différencier les algues selon leur couleur rouge, verte et brune. Cependant, quelques recherches et réglages sont encore en cours pour perfectionner ces méthodes de détection. Il est aussi possible d'y apporter des modifications qui pourraient lui permettre de détecter d'autres surfaces ou objets dans son passage, par leur réaction à la lumière.

La photosynthèse

Les ondes lumineuses visibles sont une gamme continue de longueurs d'onde se situant environ entre 400 et 700 nm. Lorsqu'un rayon laser d'une certaine longueur d'onde vient illuminer une algue, plusieurs choses peuvent se produire. Les tissus de l'algue vont absorber et réfléchir la lumière à certaines longueurs d'onde, selon les propriétés de leurs surfaces et leur structure interne. De plus, la lumière absorbée pourra être utilisée dans le processus de photosynthèse, pendant lequel une partie de l'énergie lumineuse absorbée est réémise sous forme de fluorescence.



Dans les zones où il y a davantage de lumière, des changements au niveau de l'abondance et de la diversité des organismes benthiques photosynthétiques peuvent être observés, ainsi que celles d'organismes qui y sont associés, soit pour l'habitat, la nourriture et autres bénéfices.

Reconstruction du fond marin par le LiDAR

Algue rouge
Algue brune
Algue verte

65 (m)
Profondeur où peu d'espèces d'algues peuvent habiter en raison du manque de lumière.

100 (m)
Profondeur maximum du tout marin.

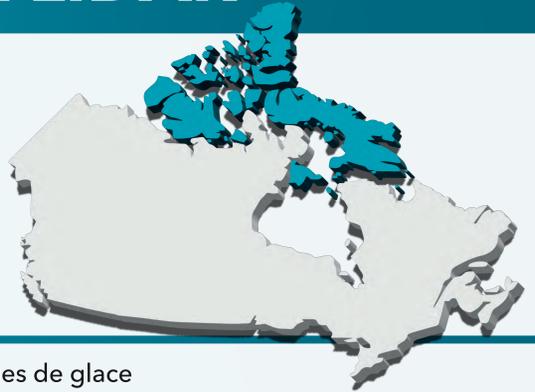
LA RECHERCHE OCÉANOGRAPHIQUE ASSISTÉE PAR LiDAR

L'archipel Arctique

Situé au nord du continent canadien, l'archipel Arctique abrite plusieurs milliards de cellules d'algues microscopiques par mètre carré.

Sa flore microscopique est essentielle puisque ses microalgues se retrouvent à la base de la pyramide alimentaire marine de l'Arctique.

Le phytoplancton, ainsi que les algues de glace y résidant agissent comme poumons de l'océan, contribuant à 50 % de l'apport mondial en oxygène.



Le soleil et les glaces

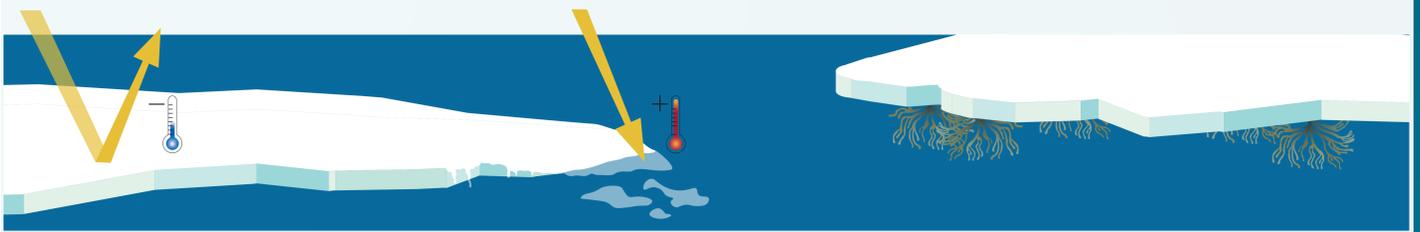
Les glaces arctiques, par leur couleur blanche, réfléchissent une part importante de la lumière incidente. Celles-ci font partie intégrante de l'écosystème marin.

Pendant l'été, la fonte amène la mise à découvert d'une plus grande partie d'eau, qui absorbe ainsi une quantité importante de lumière provenant du soleil. Cela entraîne le réchauffement graduel de l'eau, ce qui contribue à une fonte accélérée des glaces.

Les algues de glace

Les algues de glace de mer, principalement trouvées sur la couche inférieure de la glace, permettent un approvisionnement vital en carbone pour les organismes vivants directement sous sa couche.

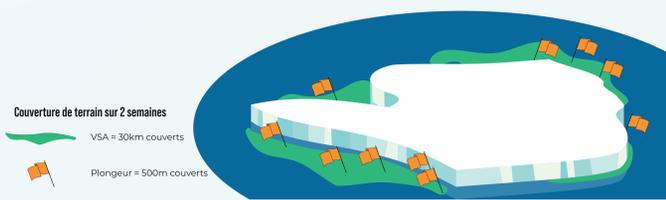
Elles servent également de nourriture aux zooplanctons, poissons, pingouins, ainsi que certains cétacés.



La plongée et le véhicule sous-marin autonome

Malgré les limites biologiques limitant les plongeurs à 2 ou 3 plongées par jour, ils sont particulièrement utiles pour aller prélever des échantillons à analyser.

Les véhicules sous-marin autonomes (VSA) ont, quant à eux, l'avantage de ne pas être restreints par des limites biologiques. Ils permettent donc de couvrir de plus grandes surfaces en moins de temps.



Les macroalgues

Les macroalgues sont vitales à la vie marine côtière. Véritable habitat pour les différentes espèces de fonds marin, les algues constituent une aide précieuse pour la survie de l'écosystème.

Celles-ci sont également une composante capitale pour la chaîne alimentaire marine. La concentration et la répartition de leurs divers types diffèrent en fonction de la période de l'année, de la luminosité, des glaces, des nutriments accessibles ainsi que de leur emplacement et de leur profondeur.



Les algues, la réflectance et la fluorescence

La réflectance et la fluorescence utilisées dans la prise de mesures par LiDAR permettent une détection et une certaine différenciation des types d'algues. Ainsi, les nuages de points 3D peuvent délimiter les différentes algues dans leurs emplacements précis.

La réflectance

Désigne la portion de lumière étant réfléchi par l'algue. Les différents types d'algues ayant des niveaux d'absorption variés pourront être différenciés par leur niveau de réflectance.



La fluorescence

Désigne l'émission lumineuse des algues, lorsque celles-ci sont illuminées par le laser. Plus elles sont illuminées, plus la fluorescence sera puissante. Il est possible de détecter les types d'algues en fonction de la fluorescence mesurée.



Données acquises par LiDAR

Données enregistrées en mesurant l'intensité de la lumière réfléchi sur la surface étudiée. Les mesures sont prises par un laser se déplaçant point par point, de gauche à droite, tout en avançant au-dessus de ladite surface.

On retrouve deux types de détection des mesures.

Images par réflectance

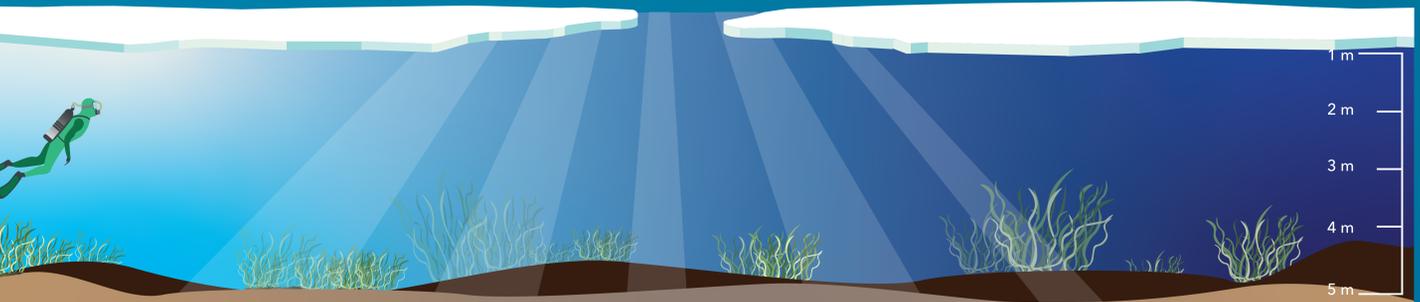
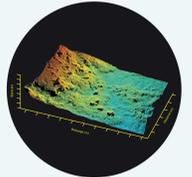
Données acquises à l'aide d'un filtre ne laissant passer que la lumière de la même couleur que celle du laser.

Images par fluorescence

Données acquises à l'aide d'un filtre correspondant à la lumière de la même couleur que la fluorescence des algues à l'étude.

Nuages de points 3D

À l'aide des données acquises par réflectance et/ou fluorescence, on peut calculer la distance entre la surface des objets mesurés par le laser et les fonds marins. Ces distances sont utilisées dans la modélisation 3D des emplacements utilisés. Ces nuages de points donnent la possibilité de produire des cartes benthiques et/ou sous-marines permettant d'illustrer les macro-algues, les algues de glace, ainsi que d'autres cibles biologiques dans leur environnement.



Alexandra Gagnon
Maxime Robichaud

Faculté d'aménagement,
d'architecture, d'art et de design
de l'Université Laval

Musée canadien de la nature (2019) Algues de glace et changements climatiques.
<https://curio.ca/acces/bibi.ulaval.ca/fr/ideo/algues-de-glace-et-changement-climatique-23393/>

Musée canadien de la nature (2019) L'Arctique : Terre de changement
https://media.cuno.ca/acces/bibi.ulaval.ca/tier_public/20/7e/20/7e40aa-ae49-4727-aea1-502a55d70995/monarcticalgaiseice.pdf



En collaboration avec
Sentinelle Nord

Selon les recherches de
Matthieu Huot

FLUORESCENCE

LA LUMIÈRE SOUS L'ARCTIQUE

L'ARCHIPEL ARCTIQUE

1 400 000 KM²

Situé au nord du continent canadien, l'archipel arctique cache une biodiversité méconnue et surprenante, un écosystème unique au monde. Les eaux froides de l'Arctique sont parmi les plus productives de la planète et supportent une grande diversité d'espèces allant du phytoplancton aux plus grands animaux. Depuis plusieurs années, la condition de la glace arctique influence ces organismes et leur mode de vie. Les espèces qui y sont présentes sont ainsi appelées à s'adapter ou à être remplacées au cours des prochaines décennies, alors que se transformera le visage de l'Arctique.



EN ARCTIQUE LES SCIENTIFIQUES OBSERVENT PARFOIS LES IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES LORS DE LEURS TRAVAUX DE RECHERCHE SUR LE TERRAIN.

Sentinelle Nord a choisi d'étudier le milieu arctique puisqu'il s'agit d'un lieu de prédilection pour observer en accéléré les impacts des changements climatiques sur notre milieu. Les recherches en océanographie permettent donc d'étudier et/ou d'anticiper les transformations de nos écosystèmes et les impacts sur notre milieu de vie. L'utilisation d'un sous-marin autonome conçu pour créer et détecter la fluorescence à l'aide d'un laser permet à l'équipe de repérer certains organismes photosynthétiques marins comme les macroalgues pour mieux nous renseigner sur leur abondance et leur distribution. L'avenir de notre espèce est intimement lié à celui de la vie marine et à l'équilibre de ses écosystèmes. L'Arctique et les populations qui y vivent ont encore plusieurs secrets à nous révéler sur ce monde difficile d'accès où se côtoient beauté et fragilité.

LA LUMIÈRE NATURELLE

La lumière change en intensité et en composition avec la profondeur. Sous deux mètres d'eau, l'intensité peut déjà être réduite de 60 % par rapport à la surface. L'activité des macroalgues et des microalgues à l'origine des chaînes alimentaires de l'écosystème aquatique est particulièrement dépendante de la lumière dans ce qu'on appelle « le spectre du visible ». Par sa nature, l'eau absorbe en plus grande proportion la lumière qui s'étend vers le rouge, laissant ainsi une plus grande proportion de lumière bleue dans les fonds marins. Ce phénomène d'absorption demande une adaptation chez les algues pour leur permettre d'utiliser efficacement cette lumière.



LES GLACES DE MER

Selon la NASA, la fin de la glace d'été est prévue d'ici 2035 si nous ne parvenons pas à freiner le réchauffement climatique. Les pôles tiennent le rôle de climatiseurs de la Terre. Leur surface blanche reflète les rayons du soleil et redirige une part importante de leur chaleur vers l'atmosphère. Sans la couche de glace, l'eau bleu foncé absorbe la chaleur, ce qui contribue au réchauffement de l'océan.

LES RADIATIONS EN PROFONDEUR

Avec la profondeur, la lumière diminue en intensité et évolue en qualité. L'absorption en profondeur de la lumière dépend de la turbidité de l'eau, soit de sa teneur en particules. La limite inférieure de la zone euphotique, soit celle où la lumière est suffisante pour permettre la photosynthèse, varie de 15 à 20 mètres en eau littorale trouble.

QUESTION D'ÉCHELLE 30m.

La collecte de données en eau peu profonde est beaucoup plus chronophage et dangereuse que la collecte de données en eau profonde. Les constats des plongeurs sont précis et cruciaux pour étudier les phénomènes à petite échelle. Cependant, ces données combinées à celles recueillies par les nouvelles technologies permettent d'avoir un meilleur portrait de ce vaste territoire à explorer.

L' AUV | 100 m.

L'AUV (Autonomous Underwater Vehicle) est un type de robot sous-marin autonome idéal pour effectuer des recherches en milieu marin. Ce véhicule permet d'utiliser plusieurs types d'instruments scientifiques conçus pour récolter des données de tous genres. La bathymétrie peut être faite par outils utilisant l'acoustique ou par LIDAR (la lumière). L'analyse de ces données renseigne entre autres sur les caractéristiques du fond marin. Elles permettent une vue à grande échelle des particularités d'une région.

ORGANISMES PHOTOSYNTHÉTIQUES

Afin d'évaluer la présence de ces organismes, les chercheurs s'intéressent à la fluorescence émise par les algues durant le processus de photosynthèse. En profondeur, la source d'énergie de l'écosystème est généralement la neige marine constituée de matière organique qui provient de la colonne d'eau plus haut à la dérive. Cette matière morte et en décomposition soutient la chaîne alimentaire benthique; les petits êtres qui s'y abritent étant charognards ou détritivores.

LA BATHYMÉTRIE

La bathymétrie, science de la topographie des fonds marins, permet de cartographier le relief du fond de l'océan. Bien que cette technique soit vieille de plusieurs siècles, les avancées technologiques de ces dernières décennies ont radicalement changé le milieu de la cartographie sous-marine et son utilité. La bathymétrie est importante pour une grande variété d'utilisations à commencer par la compréhension fondamentale des processus géologiques et océanographiques affectant notre planète.

« La connaissance des fonds marins est précieuse pour les communautés qui vivent, naviguent, pêchent et chassent en Arctique. »

LA FLUORESCENCE

La photosynthèse est le processus par lequel les plantes utilisent la lumière pour leurs besoins en énergie. Celui-ci n'est pas parfait et laisse s'échapper de l'énergie sous forme lumineuse que l'on appelle fluorescence. Les organismes photosynthétiques observés ont une « signature spectrale-lumineuse » spécifique à leur construction; c'est-à-dire que la lumière rejetée sera différente pour l'algue verte et l'algue rouge par exemple. L'algue brune qui évoluerait dans des conditions semblables aurait la même signature en Arctique que dans le Saint-Laurent.

Échantillon d'un peuplement d'Algues pouvant être retrouvé entre 25 et 45 mètres. Espèces: Accharina Latissima, Alaria Esculenta, Agarum Clathratum

50%

DE L'APPORT MONDIAL EN OXYGÈNE EST PRODUIT PAR LES ÉCOSYSTÈMES MARINS

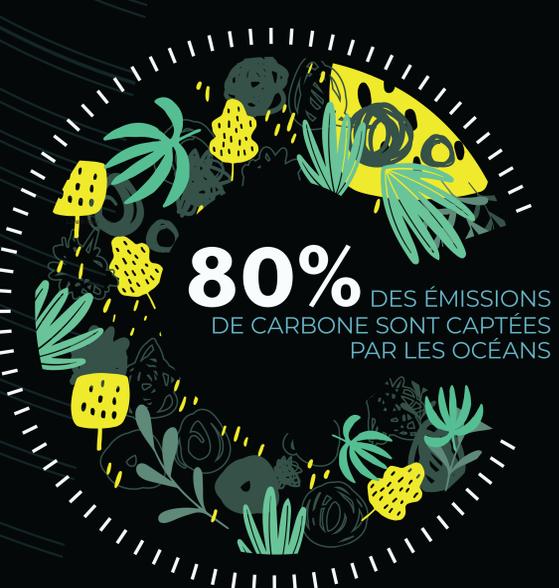
En filtrant le carbone, les écosystèmes marins contribuent à l'apport en oxygène mondial. En effet, les océans ont absorbé environ 150 milliards de tonnes de carbone depuis 1870. En se transformant en de véritables puits de carbone, les écosystèmes marins sont essentiels à l'équilibre de notre planète.

PROTÉGER, CONSERVER ET RESTAURER LA BIODIVERSITÉ

sont des solutions d'avenir pour lutter efficacement contre les changements climatiques. Afin de pouvoir mettre ces solutions en œuvre, il est essentiel de prendre en compte les liens entre l'océan, la biodiversité et le climat.

LE NOIR DES PROFONDEURS

À plus de 200 mètres c'est la noirceur totale.



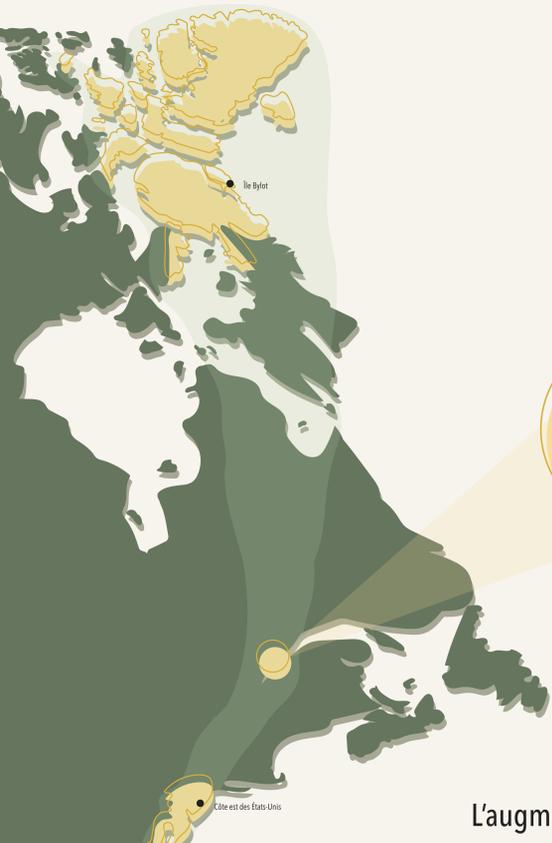
80%

DES ÉMISSIONS DE CARBONE SONT CAPTÉES PAR LES OCÉANS



Une espèce migratrice chassée

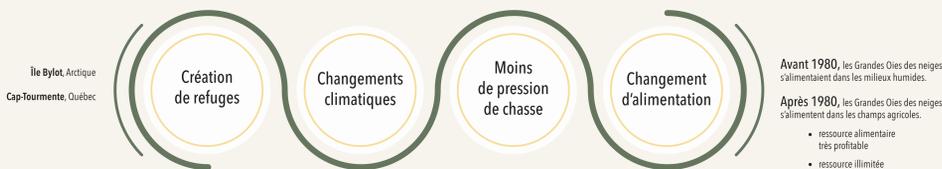
Les répercussions sur la Grande Oie des neiges après 20 ans d'exposition



Le cycle annuel des oies

- L'Oie des neiges se rend en **Arctique**, à l'île Bylot, afin de se reproduire.
- L'Oie des neiges se rend au **Québec** afin de se nourrir dans les champs et de s'engraisser le plus rapidement possible pour la période de la reproduction.
- L'Oie des neiges se rend sur la **côte est des États-Unis** afin de s'alimenter et de survivre à l'hiver.
- L'Oie des neiges se rend au **Québec** afin de se nourrir dans les champs et de permettre aux jeunes de prendre des forces.

L'augmentation de la population et ses 4 causes



En seulement 34 ans, il y a eu une augmentation de **3 900 %**.

1965 : 25 000
1999 : 1 000 000

Les impacts des populations d'oies blanches dans l'Arctique canadien

Une alimentation limitée
En Arctique, il n'y a pas d'agriculture comme dans l'écosystème du sud. Il s'agit d'une **végétation très fragile** et qui pousse très lentement. L'oie doit alors s'ajuster à cette alimentation qui est limitée par rapport à la quantité d'oies sur le territoire de l'Arctique.

Le surbroutement
Le surbroutement est un phénomène plutôt commun qui consiste à **manger les végétaux jusqu'à leurs racines**. Cela se produit lorsque l'on retrouve un nombre d'oies trop important pour les ressources disponibles. De plus, dans des cas extrêmes, cela peut entraîner l'écosystème vers un état d'équilibre différent où la végétation n'arrive plus à se régénérer.

La destruction de l'habitat
La **surabondance de la population** d'une sous-espèce d'oie, la Petite Oie des neiges, cause une destruction de son habitat à certains sites du bas Arctique canadien. Cela a des répercussions évidentes sur les autres espèces qui utilisent également cet habitat.

* « Oies blanches » est un terme qui regroupe la Grande Oie des neiges et la Petite Oie des neiges.

Solution : mise en place de périodes de chasse spéciales

La Grande Oie des neiges est un oiseau qui est chassé depuis bien longtemps à l'automne. Cependant, avec l'explosion de la population cette chasse ne suffisait pas afin de contrôler l'évolution exponentielle de la Grande Oie des neiges. C'est pourquoi en **1999** et en **2009**, le Canada et les États-Unis se sont réunis dans le but de **freiner l'augmentation de la population**. La chasse est désormais en vigueur plus de neuf mois par année et cela dans le but d'empêcher la Grande Oie des neiges de devenir aussi abondante que sa cousine et de causer des dommages similaires. **Cette solution a permis de maintenir la population à un niveau est qui est supportable pour les écosystèmes nordiques.**

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1950-1998	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	●
1999-2008	○	○	◐	●	●	○	○	○	●	●	●	●
2009-2022	●	●	●	●	●	○	○	○	●	●	●	●

● Traditionnel
● Spécial États-Unis
● Spécial Canada

La pression de la chasse et ses impacts

Direct



Mortalité



Survie réduite de 5%

Indirect



Produit un environnement hostile



Cause du stress



Crée un dérangement pendant la période d'engraissement pré-migratoire



Diminue l'efficacité à se nourrir



Affecte les décisions de reproduction

Après 20 ans...

Grâce à la mise en place des chasses spéciales, la population se maintient toujours autour

de **800 000 individus**,

ce qui a permis d'éviter de plus grands impacts sur la végétation arctique comme l'a causé la Petite Oie des neiges sur d'autres sites de l'Arctique canadien.

Mentions et crédits

Frédéric Laframboise
federic.laframboise@gmail.com
Visualisation d'information | Conception et réalisation graphiques :
Delphine Darachic et Maya-Jade Gourdès-Bun, 2022

Sources

Reed, A., Goss, J. L. & Goss, C. Population size predictability, harvest and distribution in the Greater Snow Goose. *Journal of Great Lakes Research* 34(4): 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2008.07.001>
 2002, Steinhilber, F. & Goss, C. Long-term population trends, harvest and distribution in the Greater Snow Goose. *Journal of Great Lakes Research* 28(4): 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2002.07.001>
 2003, Steinhilber, F. & Goss, C. Long-term population trends, harvest and distribution in the Greater Snow Goose. *Journal of Great Lakes Research* 29(4): 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2003.07.001>
 2004, Steinhilber, F. & Goss, C. Long-term population trends, harvest and distribution in the Greater Snow Goose. *Journal of Great Lakes Research* 30(4): 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2004.07.001>
 2005, Steinhilber, F. & Goss, C. Long-term population trends, harvest and distribution in the Greater Snow Goose. *Journal of Great Lakes Research* 31(4): 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2005.07.001>
 2006, Steinhilber, F. & Goss, C. Long-term population trends, harvest and distribution in the Greater Snow Goose. *Journal of Great Lakes Research* 32(4): 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2006.07.001>
 2007, Steinhilber, F. & Goss, C. Long-term population trends, harvest and distribution in the Greater Snow Goose. *Journal of Great Lakes Research* 33(4): 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2007.07.001>
 2008, Steinhilber, F. & Goss, C. Long-term population trends, harvest and distribution in the Greater Snow Goose. *Journal of Great Lakes Research* 34(4): 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2008.07.001>
 2009, Steinhilber, F. & Goss, C. Long-term population trends, harvest and distribution in the Greater Snow Goose. *Journal of Great Lakes Research* 35(4): 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2009.07.001>
 2010, Steinhilber, F. & Goss, C. Long-term population trends, harvest and distribution in the Greater Snow Goose. *Journal of Great Lakes Research* 36(4): 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2010.07.001>
 2011, Steinhilber, F. & Goss, C. Long-term population trends, harvest and distribution in the Greater Snow Goose. *Journal of Great Lakes Research* 37(4): 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2011.07.001>
 2012, Steinhilber, F. & Goss, C. Long-term population trends, harvest and distribution in the Greater Snow Goose. *Journal of Great Lakes Research* 38(4): 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2012.07.001>
 2013, Steinhilber, F. & Goss, C. Long-term population trends, harvest and distribution in the Greater Snow Goose. *Journal of Great Lakes Research* 39(4): 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2013.07.001>
 2014, Steinhilber, F. & Goss, C. Long-term population trends, harvest and distribution in the Greater Snow Goose. *Journal of Great Lakes Research* 40(4): 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2014.07.001>
 2015, Steinhilber, F. & Goss, C. Long-term population trends, harvest and distribution in the Greater Snow Goose. *Journal of Great Lakes Research* 41(4): 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2015.07.001>
 2016, Steinhilber, F. & Goss, C. Long-term population trends, harvest and distribution in the Greater Snow Goose. *Journal of Great Lakes Research* 42(4): 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2016.07.001>
 2017, Steinhilber, F. & Goss, C. Long-term population trends, harvest and distribution in the Greater Snow Goose. *Journal of Great Lakes Research* 43(4): 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2017.07.001>
 2018, Steinhilber, F. & Goss, C. Long-term population trends, harvest and distribution in the Greater Snow Goose. *Journal of Great Lakes Research* 44(4): 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2018.07.001>
 2019, Steinhilber, F. & Goss, C. Long-term population trends, harvest and distribution in the Greater Snow Goose. *Journal of Great Lakes Research* 45(4): 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2019.07.001>
 2020, Steinhilber, F. & Goss, C. Long-term population trends, harvest and distribution in the Greater Snow Goose. *Journal of Great Lakes Research* 46(4): 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.07.001>
 2021, Steinhilber, F. & Goss, C. Long-term population trends, harvest and distribution in the Greater Snow Goose. *Journal of Great Lakes Research* 47(4): 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2021.07.001>
 2022, Steinhilber, F. & Goss, C. Long-term population trends, harvest and distribution in the Greater Snow Goose. *Journal of Great Lakes Research* 48(4): 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2022.07.001>

LA GRANDE OIE DES NEIGES

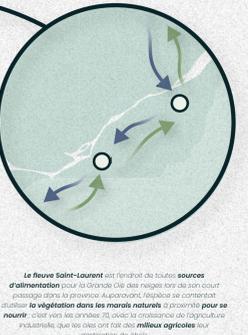
ET L'IMPACT HUMAIN SUR SA SURVIE

Basé sur les recherches de **Frédéric LeTourneau** biologiste et étudiant au doctorat

- migration automnale
- migration printanière
- moment de pause

UN PÉRIPLE SANS FIN

La Grande Oie des neiges est une espèce d'oiseau migrateur en **constant mouvement** : elle débute son périple dans le territoire du Nunavut, où elle niche durant l'hiver. Dès l'automne elle se dirige vers le sud pour se rendre sur la **côte atlantique américaine** pour l'hiver, en faisant une halte de plusieurs semaines au sud de la province du Québec dans le but de regagner des forces pour le reste du voyage. Elle fait ensuite le chemin inverse au printemps, donnant ainsi un itinéraire cyclique.*



1970's

UNE RÉVOLUTION ALIMENTAIRE

La Grande Oie des neiges se nourrit de principalement de nouvelles pousses de plantes herbacées qu'on retrouve dans les milieux humides et les prairies. Suite au **développement de l'agriculture industrielle** dans les **années 70**, les terres agricoles "qualitatives" se sont grandement étendues, fournissant ainsi une **ressource alimentaire abondante** et très profitable pour les oies.

Maintenant, où une source de nourriture inépuisable est disponible à l'automne, à l'hiver et au printemps, **l'espèce est plus en forme que jamais**. Terminé l'époque de recherches interminables en plongeant la tête dans l'eau glacée seulement pour quelques rhinomes. Une infinité se retrouve désormais à leur portée!

Condition physique masse corporelle au printemps en grammes (g)

1979 3150 g

UNE HAUSSE IMPORTANTE... ET PROBLÉMATIQUE

N Les communautés végétales nordiques ne sont pas aussi productives que les champs agricoles et peuvent épuiser la croissance et l'équilibre de celles-ci.

→ **responsable population affaiblie**

S L'agriculture industrielle s'intensifie au sud et par là fait même multiplier les ressources alimentaires de la grande oie des neiges qui a accès à sa migration hivernale.



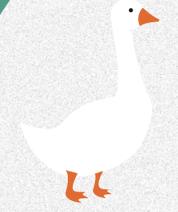
CHASSE SAISONNIÈRE OUVERTE

UNE MESURE D'EXCEPTION

Dans les **années 20**, la population de la même espèce dépassait à peine le **3 000 oies**. C'est d'ailleurs pour cette raison qu'un décret avait été mis en place à l'époque par le gouvernement du Canada pour **interdire toute chasse de sauvagine migratrice** au printemps pour protéger les espèces les plus vulnérables, mais les impacts néfastes causés par **l'explosion rapide de la population** de la Grande Oie des neiges ont poussé les gestionnaires à agir pour mettre un frein à ce cycle de conséquences.*

En 1999 au Canada – et en 2009 aux États-Unis – de nouvelles réglementations de chasse ont été instaurées, dont notamment, **l'ouverture d'une chasse saisonnière spéciale** de printemps pour la Grande Oie des neiges, ce qui était interdit depuis lors. Ces nouvelles réglementations avaient pour but de **stabiliser la population** de la Grande Oie par le biais des adultes, particulièrement.*

1999 ~ 1 000 000 oies



↑ **400%**

entre 1985 et 2000

1989 2910 g

AU DÉTRIMENT DE LA CONDITION

Malgré le fait que la chasse saisonnière ait eu l'effet désiré, qui était de mettre fin à la croissance exponentielle de la population des Grandes Oies des neiges, elle a également apporté de **grands changements sur leurs comportements et leur condition physique**, notamment durant la halte migratoire, moment où la chasse est bien présente.*

Le **fort stress** imposé par la pression de chasse constante (coups de feu, blessures, etc.) **affecte considérablement leur physiologie**. La peur d'être la prochaine victime amène les oies à ne pas rester dans les champs aussi longtemps qu'elles le voudraient, et donc **les prive grandement de leur accès à cette importante source de nourriture**.*

STABILISATION DE LA POPULATION

Dès l'instauration de la chasse de printemps, la croissance exponentielle de la population de la Grande Oie des neiges a été interrompue. L'augmentation de la mortalité des oies adultes a permis non seulement de laisser plus de nourriture pour les autres espèces au Nord, mais également aux jeunes oies d'avoir une **meilleure chance de survie** moyennant pas à faire concurrence à la grande quantité d'adultes qui devaient leur source de nourriture.

2019 ~ 700 000 oies

2021 2915 g

SIMULATION D'UN MONDE SANS CHASSE

La pandémie a mené à un confinement mondial en 2020 et a permis aux chercheurs de s'imaginer un monde sans chasse printanière : **que se passerait-il si, du jour au lendemain, la Grande Oie des neiges n'avait plus à craindre pour sa vie à chaque instant, et ce, pour la première fois depuis plus de 20 ans?**



Ce fut un changement soudain qui a eu un **impact instantané** pour les oies. Les chercheurs ont remarqué, cette année-là, une **très forte condition physique** chez les Grandes Oies, et ce, très tôt au printemps – **plus tôt que ce qu'on a pu observer** depuis la mise en place de la chasse printanière.

Conséquemment, elles ont passé **moins de temps** dans les champs à la fin du printemps, puisqu'elles **n'avaient plus besoin de prendre le risque** de visiter ces habitats qui elles considéraient **risqués** puisqu'elles y sont chassées sans arrêt depuis 20 ans. Cela a permis aux oies de débiter leur migration vers le Nord avec **une condition physique bien meilleure que la plupart des années précédentes**.*

Population de l'espèce Nombre d'oies

1965 ~ 50 000 oies

1920

1980

1990

2000

2009

2010

2020

* Cette époque, le gouvernement du Canada met en place un décret pour interdire toute chasse de sauvagine migratrice pour protéger les nombreuses espèces vulnérables pour qui la chasse nuit considérablement à leur reproduction et affaiblit fortement leurs populations.

Contrairement au Canada où les réglementations sur la chasse saisonnière ont été décidées en 1999, c'est seulement à l'hiver 2009 que le « conservation order » a été officiellement instauré dans tous les États de la côte Est. Cette décision a permis aux oies de bénéficier de la protection juridique fédérale et provinciale, en plus de quelques actions juridiques par les mouvements de protection des animaux.

Sources
 ● Bird & Stone, J. & L. (2013) The Snow Goose: A History of the Species and its Conservation. *Journal of Field Ornithology*, 84(1), 1-12.
 ● Bird & Stone, J. & L. (2013) The Snow Goose: A History of the Species and its Conservation. *Journal of Field Ornithology*, 84(1), 1-12.
 ● Bird & Stone, J. & L. (2013) The Snow Goose: A History of the Species and its Conservation. *Journal of Field Ornithology*, 84(1), 1-12.
 ● Bird & Stone, J. & L. (2013) The Snow Goose: A History of the Species and its Conservation. *Journal of Field Ornithology*, 84(1), 1-12.
 ● Bird & Stone, J. & L. (2013) The Snow Goose: A History of the Species and its Conservation. *Journal of Field Ornithology*, 84(1), 1-12.

INNOVER LA MESURE DE LA NEIGE

L'étude de la neige arctique est cruciale afin de comprendre ses impacts sur l'environnement et la biodiversité.

LES ANIMAUX VULNÉRABLES

Prévision des effets de la neige sur les animaux les plus vulnérables aux changements.

LES AVALANCHES

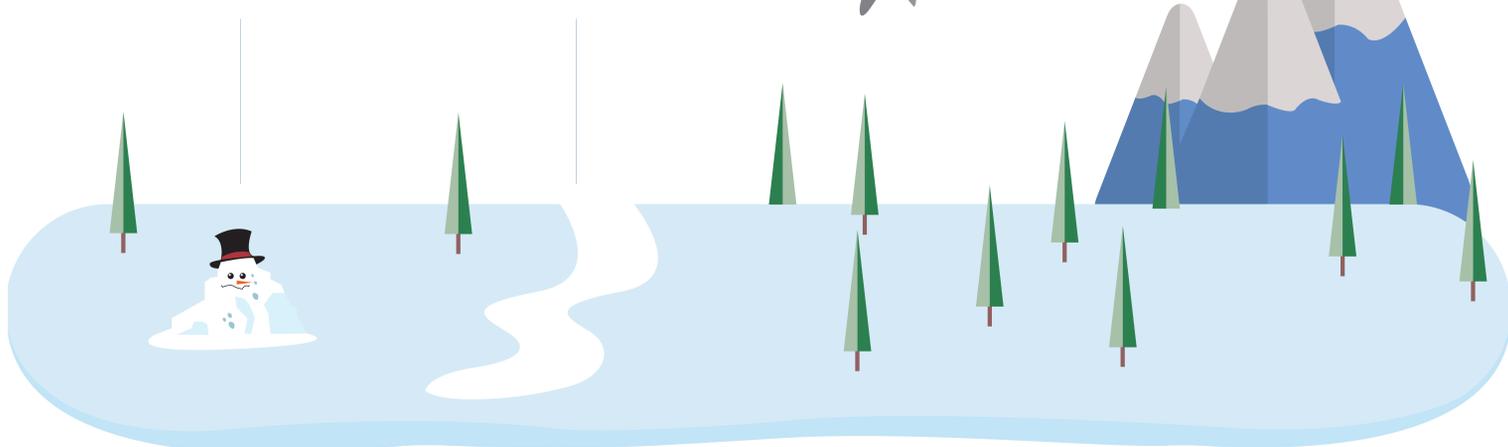
Prévision des avalanches dans les endroits à risque.

LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Prévision des effets du réchauffement climatique et de ses conséquences.

LA QUANTITÉ D'EAU

Prévision de la quantité d'eau générée par la fonte de la neige au printemps.



LA DENSITÉ DE LA NEIGE ET SES MÉTHODES DE CALCUL

La densité, c'est le rapport entre la masse d'un objet et celle d'un même volume d'eau. On parle plutôt de la masse d'eau dans la neige. Le manteau neigeux est constitué de glace et d'air, ainsi que d'une petite partie d'impuretés. Les propriétés de ces éléments doivent être prises en considération lors du calcul de la densité. Ce calcul peut être fait de deux manières différentes: manuelle ou automatique.

MÉTHODE MANUELLE

- Disponible au rythme des visites
- Donnée recueillie à la main
- Coût élevé

MÉTHODE AUTOMATIQUE

- Disponible en tout temps
- Donnée recueillie à l'aide de l'ordinateur
- Faible coût



BALANCE

On place l'échantillon de neige pour connaître son poids et à l'aide d'un calcul on peut mesurer sa densité.



ORDINATEUR

Le prototype transmet les données du calcul de la densité. L'ordinateur les analyse et les envoie par satellite au laboratoire.



PROTOTYPE NOVATEUR

Avant la première neige, le chercheur se déplacera sur les lieux pour installer le prototype. Tranquillement, la neige viendra recouvrir celui-ci. Une coquille extérieure le protège contre les conditions difficiles de l'hiver. À l'intérieur de cette coquille se trouve une fibre optique qui conduit un laser utilisé pour mesurer la densité.

FONCTIONNEMENT DU LASER

Lorsque le prototype est en fonction, celui-ci envoie un rayon laser par l'extrémité intérieure, qui sera ensuite recueilli de l'autre extrémité du prototype. Le temps que prend le rayon laser pour traverser la couche de neige ainsi que la quantité d'oxygène rencontrée lors de son parcours sont les éléments clés du calcul de la densité de la neige.

Bien que cela puisse sembler simple, trois grands facteurs influencent le parcours du rayon laser: la forme des grains, la diffusion et l'absorption. Toutes ces variables doivent être prises en compte lors du calcul de la densité.



Exemple du laser dans une couche de neige

DIFFUSION

Lorsque la lumière frappe le flocon, celle-ci est réfléchi dans plusieurs directions. Ce processus est répété au contact de chaque grain de neige.



ABSORPTION

La force du faisceau diminuera lorsque celui-ci entrera en contact avec un flocon. En effet, une quantité de lumière est absorbée à chaque contact.

CE QU'IL FAUT RETENIR

Le manteau neigeux arctique va subir des transformations rapides au cours des prochaines décennies. Étant donné ces changements, il est important d'utiliser le prototype afin d'étudier l'évolution de la neige et de comprendre les conséquences de ces changements.

Pourquoi devrait-on améliorer notre façon de mesurer la densité de la neige?

C'est quoi ça, la densité? Comment est-elle mesurée?
Poursuivez votre lecture et trouvez réponse à toutes vos questions!

Bonjour! Moi, c'est Félix.

Je suis l'un des nombreux chercheurs de **Sentinelles Nord**. Nous sommes affiliés à l'**Université Laval** et nous travaillons avec des organismes dans le but d'améliorer nos connaissances du milieu nordique.

Je vous accompagnerai tout au long de votre lecture afin de vous permettre de bien comprendre mon travail et l'importance de ma recherche.



Une petite mise en contexte

La neige rend possible la pratique de sports d'hiver et assure la survie d'espèces animales. **Sa densité**, qui influence faune, flore et activités humaines, varie constamment selon le moment de l'année et les conditions météorologiques. La mesurer plus efficacement permettrait de mieux assurer la **sécurité civile** et de mieux comprendre les **impacts de la neige** sur son environnement.

Mais qu'est-ce que la densité?

La densité de la neige exprime la **quantité d'air** présente dans celle-ci. Elle permet de déduire également la **quantité d'eau** qu'elle contient.



Quelle est la technologie développée par l'Université Laval?

Pour pallier les désavantages de la technique que nous utilisons actuellement, je développe un outil qui mesure la **densité de la neige** de façon optique. Cet outil se base sur la façon dont la lumière circule dans la neige.

Cette méthode automatisée sera **rapide et non destructive**, elle permettra de connaître la densité de la neige dans les **différentes couches du manteau neigeux sans avoir à intervenir sur le terrain**.



Quelles sont les méthodes actuelles pour mesurer efficacement la densité de la neige?

1 Mesure manuelle (pelle et balance)

Ce système, **priorisé par les chercheurs de l'Université Laval**, consiste à **prélever**, à l'aide d'une pelle, un échantillon de neige **ayant un volume connu** et d'utiliser une balance pour **déterminer son poids** et donc sa densité.

✓ Cette méthode est fréquemment utilisée puisqu'elle implique des calculs simples et que la marge d'erreur du processus est plutôt faible.

✗ Elle impose le déplacement régulier de scientifiques sur des terrains inaccessibles par le réseau routier. L'usage de motoneiges et d'hélicoptères est le moyen le plus adapté pour s'y rendre.

2 Mesure automatisée (capteur de rayons gamma)

Ce système consiste à **mesurer les radiations émises en permanence par le sol**. En hiver, elles sont **atténuées par l'accumulation de neige**. En connaissant cette atténuation, il est possible de calculer **précisément la quantité d'eau** que la neige contient, donc également, sa densité.

✓ Ce capteur a été développé par Hydro-Québec, qui prend des mesures de la neige de façon automatique afin d'éviter les déplacements de ses employés sur le terrain.

✗ Les résultats d'un tel système ne présentent que la densité moyenne du manteau neigeux. Il n'est pas possible de connaître la densité d'une couche de neige particulière.

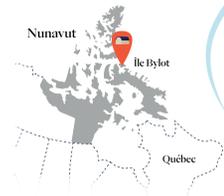


Un système de mesure optique

Où sera implantée la nouvelle technologie?

Centre de recherche

Situé à l'île Bylot, au Nunavut, le centre de recherche sert à abriter les chercheurs qui étudient l'environnement arctique depuis plusieurs décennies. C'est d'ailleurs à cet endroit que sera implanté le prototype.



1 La source d'alimentation du système

Tripleté composé d'une éolienne d'un panneau solaire et d'une antenne satellite.

Cette partie du système **fournit l'énergie** électrique et le **réseau satellite** au système. Une éolienne et un **panneau solaire** permettent de recueillir de l'énergie afin de recharger des batteries qui alimentent le système.

2 Le cerveau du système: le boîtier

Cette partie du système génère un signal lumineux à partir de l'énergie électrique.

Un laser envoie ce signal par des **fibres optiques** à la structure. Le boîtier est également responsable d'**analyser et de générer** les données reçues par la structure.

Communication des données

Une antenne utilise le réseau satellite pour **envoyer des données** générées par le boîtier à l'université afin de poursuivre les calculs de densité de la neige.

Les fibres optiques

La lumière provenant du laser (dans le boîtier) est acheminée par des fibres optiques vers la structure. Celles-ci ramènent aussi la lumière au boîtier afin de l'analyser.

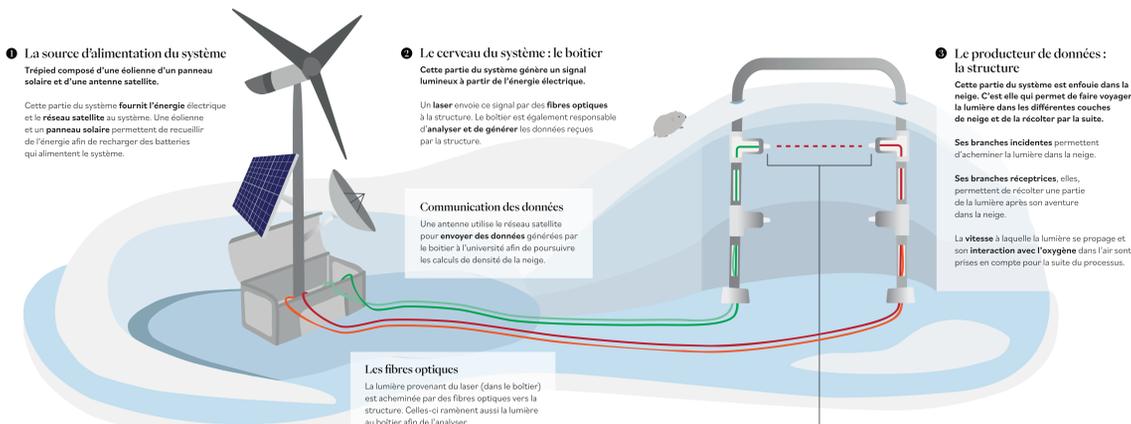
3 Le producteur de données: la structure

Cette partie du système est **enfouie dans la neige**. C'est elle qui **permet de faire voyager la lumière dans les différentes couches de neige** et de la **recueillir** par la suite.

Ses **branches incidentes** permettent d'acheminer la lumière dans la neige.

Ses **branches réceptrices**, elles, permettent de recueillir une partie de la lumière après son aventure dans la neige.

La **vitesse** à laquelle la lumière se propage et son **interaction avec l'oxygène** dans l'air sont prises en compte pour la suite du processus.



Les limites de mon système

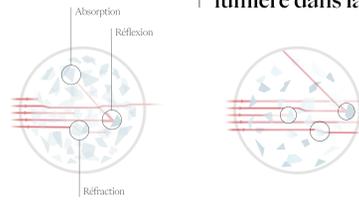
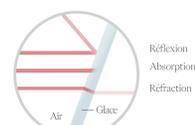
Grâce à ma nouvelle méthode de mesure, des chercheurs comme moi pourront **prévoir plus facilement les phénomènes liés à la densité de la neige**.

Cependant, mon système est toujours en développement, cela signifie donc qu'il n'est pas parfait. La forme des cristaux de neige ainsi que d'autres inconnus modifient le résultat des calculs et seront élucidés dans les prochaines phases de développement. Cela pourrait assurer une meilleure précision des données et augmenter la robustesse de mon système.

Les types d'interactions: la lumière et la glace

Dans un milieu constitué uniquement d'air, la lumière voyage en ligne droite jusqu'à elle ne rencontre aucun obstacle sur son trajet.

Si le rayon rencontre une surface glacée, il en est **tout autrement**. Il peut alors se produire des phénomènes de **réflexion, d'absorption et de réfraction**.



Rayons dans une neige très dense
Les rayons lumineux **voyagent difficilement vers la branche réceptrice de la structure**.

Ils subissent beaucoup de **réfraction, de réflexion et d'absorption** lors de leur contact avec les cristaux de glace, ce qui allonge leur parcours ou l'arrête même complètement.

L'aventure de la lumière dans la neige

Rayons dans une neige peu dense
Les rayons lumineux **voyagent aisément vers la branche réceptrice de la structure**.

Les rayons lumineux sont plus rarement **réfractés, réfléchis et absorbés**. Une neige peu dense contient plus d'air, cela augmente l'absorption de la lumière par l'oxygène (O₂).

Pourquoi étudier la densité du manteau neigeux?

À la montagne

Être informé de la densité de la neige permet de **détecter de possibles avalanches** et d'**optimiser nos activités hivernales**.

Sécurité civile

Être informé de la densité de la neige permet de **prévoir globalement la quantité d'eau** attendue au printemps dans les barrages et de **prévoir les risques d'inondations**.

Impact sur la faune

Être informé de la densité de la neige permet de **comprendre l'habitat dans lequel la faune évolue**. Cela permet de prévoir les chances de survie des différentes espèces.

À l'étude:

Les **lemmings**, de petits rongeurs vivant dans le manteau neigeux, sont très importants pour la **biodiversité arctique** et c'est pour cela que leurs conditions sont **étroitement surveillées** par des chercheurs de l'Université Laval.

Les changements climatiques affectent la densité de la neige, et ce phénomène fait partie des facteurs étudiés par les chercheurs de Sentinelles Nord. Étant donné la difficulté de certains animaux à se déplacer sous la neige lorsqu'elle est très dense, la survie animale se fait plus ardue.



Pourquoi faut-il commencer à s'attarder aux résultats?

Impact du réchauffement climatique

La **densité** de la neige de la surface du manteau neigeux **est en hausse** puisque la **température du sol augmente** et qu'il **pleut plus fréquemment**. Ce changement provoque une évaporation élevée de la neige du niveau inférieur vers le niveau supérieur. La pluie densifie la neige en augmentant sa proportion de glace.

Les impacts de ce phénomène sont peu étudiés, surtout lors de la saison hivernale, **faute d'instruments convénables**.

Impact à long terme

La variation des propriétés de la neige, en raison des changements climatiques, affectera l'environnement de différentes façons et c'est ce que les **chercheurs tentent de mieux comprendre**.



Chercheur de Sentinelles Nord

Félix Lévesque-Desrosiers

Designers graphiques

Anne-Marie Savard et Rachel Dumas-Fortin

Sources :
CEN. (2022). Félix Lévesque-Desrosiers. <https://www.cen.ulaval.ca/membre.php?id=4975488&cat=16&member=felixledesrosiers>
Hydro-Québec. [s.d.]. GMMN - Appareil de mesure automatique de la couverture nivale. <http://www.hydroquebec.com/motion/fr/pdf/20082227-01P-GMMN.pdf>
Lévesque-Desrosiers, F. (2022, janvier/avril). Communication personnelle.
Objectif sciences international. [s.d.]. Densité de la neige. <https://www.osi-exploratif.org/Devisé/de-la-neige.html>
Touchette, A. (2019, 24 mars). Rationaliser la mesure de la neige avec des rayons gamma. Radio-Canada. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1160009/mesure-neige-rayons-gamma-hydro-quebec-quantifie-crua-printemps>



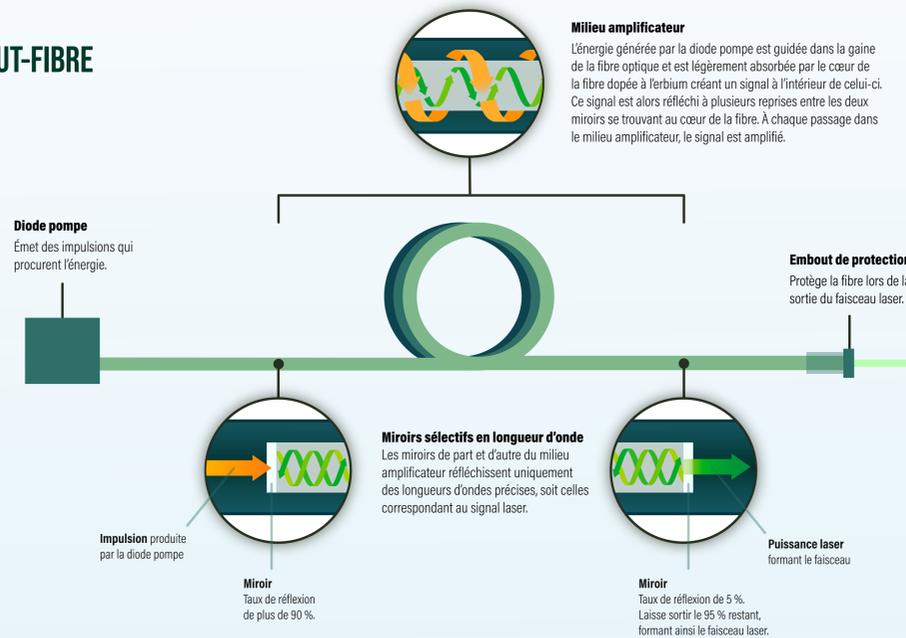
UN LASER INNOVANT

Pour avoir un meilleur portrait des gaz climatiquement actifs dans le Grand Nord

De 1971 à 2019, l'Arctique s'est réchauffé trois fois plus rapidement que l'ensemble de la planète¹. Les experts environnementaux ont donc besoin de technologies plus développées afin de mieux évaluer et comprendre la situation actuelle. Notre projet de recherche vise la création d'un laser robuste, facile d'utilisation et déployable rapidement dans le Grand Nord. Il permettra d'obtenir des mesures en temps réel de la concentration de gaz à effet de serre tel que le méthane et le dioxyde de carbone s'échappant du pergélisol et remplacera les outils actuels qui sont dispendieux et difficiles à déployer.

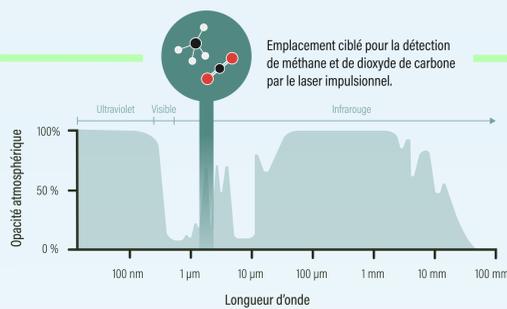
LE FONCTIONNEMENT D'UN LASER TOUT-FIBRE DE TYPE « COMMUTATION DE GAIN »

Les lasers impulsions tout-fibres produisent **des impulsions laser puissantes, stables et très courtes**. Entièrement fibré, ce laser est moins sujet aux bris ou désalignements lors du transport. Ces avantages permettent une implantation plus facile et efficace sur le terrain pour les experts en environnement.



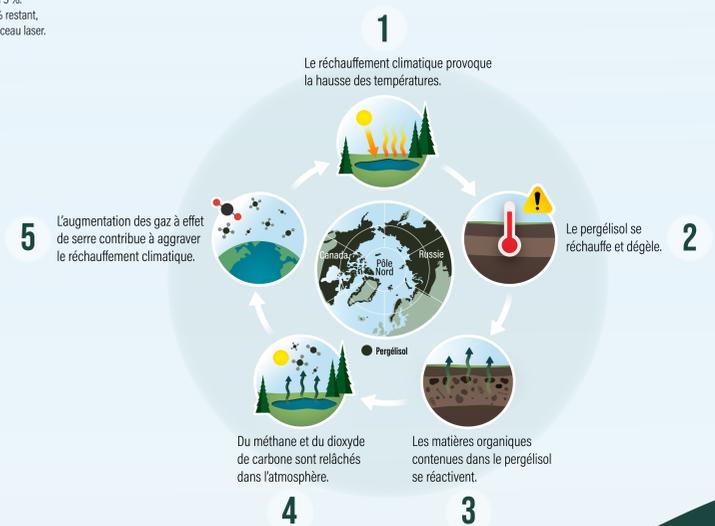
FENÊTRES DE TRANSPARENCE

Les fenêtres de transparence sont **des emplacements sur le spectre électromagnétique où l'atmosphère est moins opaque**. Nous pourrions les comparer à des trous laissant passer la lumière à travers des rideaux. **L'opacité atmosphérique est basse à 3 µm. Nos lasers peuvent donc cibler des gaz d'intérêts** qui absorbent dans ce spectre infrarouge moyen comme le méthane (3.3 µm) et le dioxyde de carbone (4.26 µm).



La quantité de **carbone contenue dans le pergélisol est quatre fois supérieure** à celle libérée dans l'atmosphère par les activités humaines à l'époque moderne².

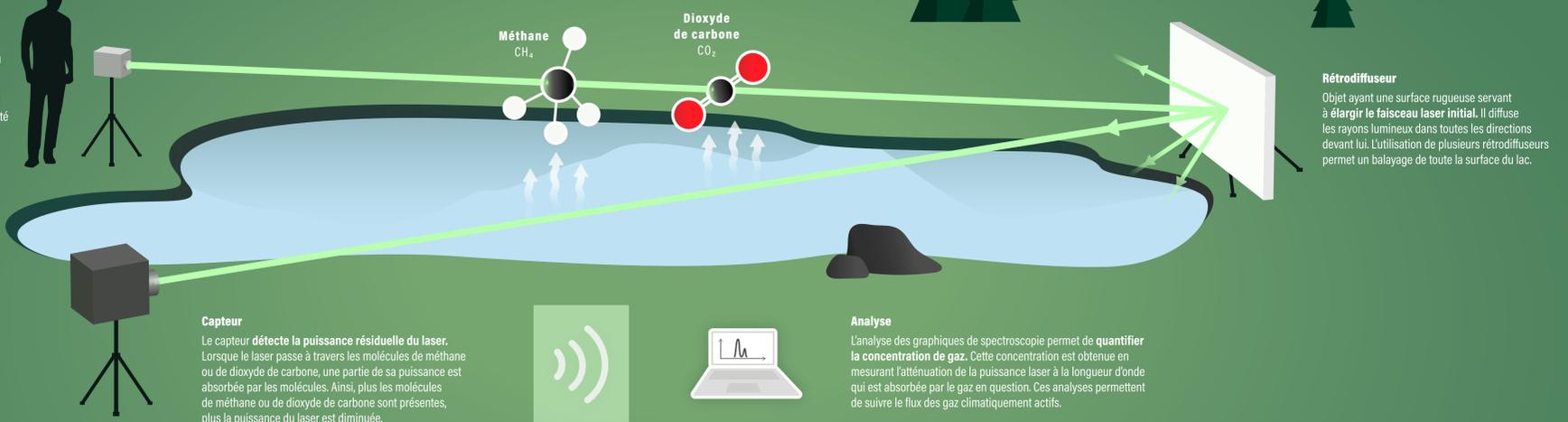
LA FONTE DU PERGÉLISOL, VÉRITABLE CERCLE VICIEUX



LE LASER SUR LE TERRAIN

Grâce à la spectroscopie, le laser placé sur le terrain peut détecter « l'empreinte digitale » des gaz s'évaporant au-dessus des lacs formés par la fonte du pergélisol.

Rapport proportionnel du laser lorsqu'il est monté et placé dans son boîtier

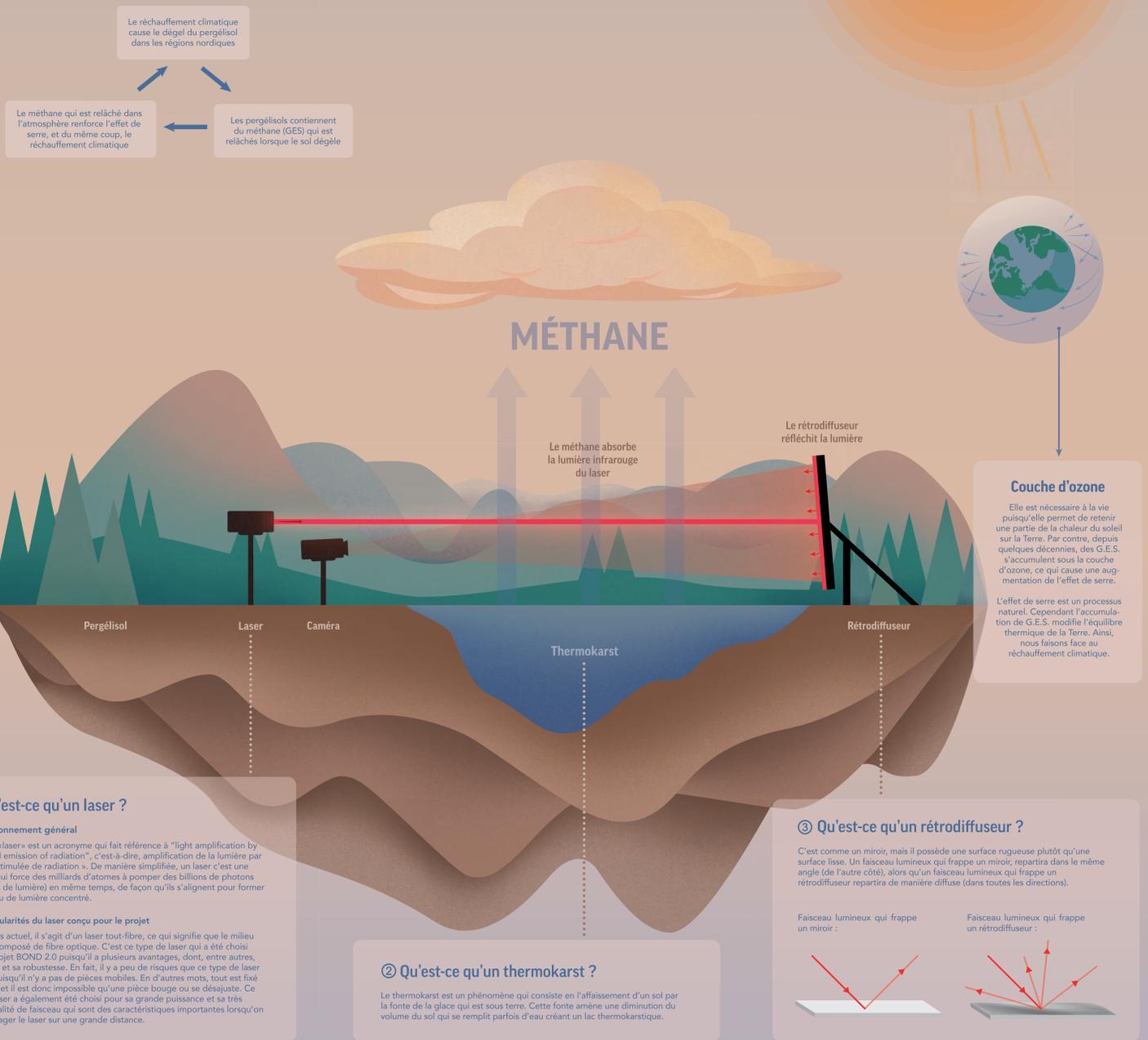


Vers un laser tout-fibre permettant de détecter plus d'un gaz à la fois

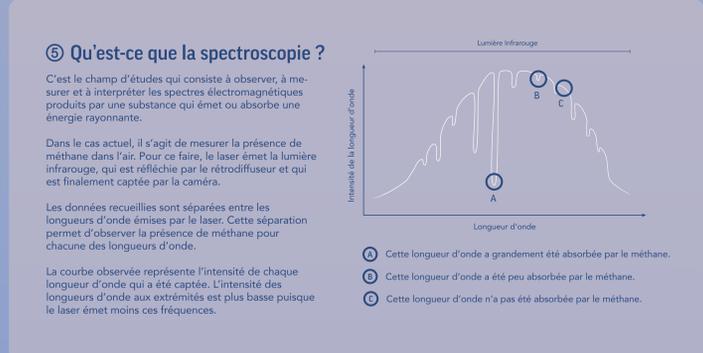
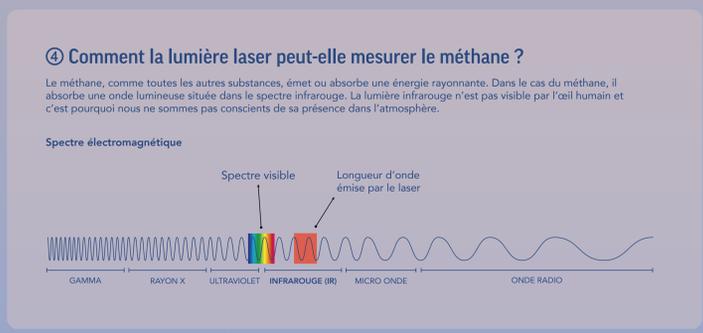
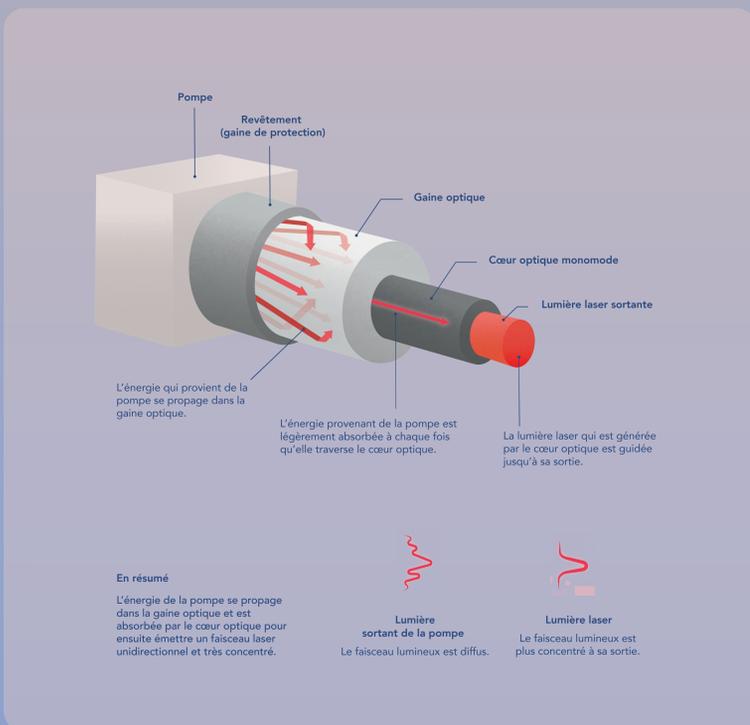
Les lasers impulsions peuvent générer un spectre d'émission plus large grâce à leurs courtes impulsions. Notre équipe travaille actuellement au développement d'un laser impulsif entièrement fibré qui sera suffisamment robuste et fiable pour être déployé dans des environnements extrêmes et qui permettra de détecter plus d'un gaz d'intérêt à la fois grâce à son spectre d'émission étendu. La spectroscopie optique au-dessus du pergélisol en cours de dégel constitue une bonne solution de rechange aux technologies actuelles afin d'améliorer la quantité de mesures dans le temps. Ces outils de précision, développés par notre équipe, répondront mieux aux besoins des experts en environnement et permettront d'avoir une meilleure vue d'ensemble du réchauffement climatique.

DÉTECTION DES GAZ CLIMATIQUEMENT ACTIFS PAR LA LUMIÈRE LASER

Les changements climatiques actuels provoquent d'importantes modifications au sein des environnements nordiques. Ces territoires hébergent des écosystèmes complexes qui se retrouvent actuellement perturbés, ce qui provoque le relâchement dans l'atmosphère de plusieurs gaz à effet de serre (GES), contribuant à leur tour aux changements climatiques. Pour développer une meilleure compréhension de ces changements, les chercheurs ont besoin de mesures précises permettant de caractériser en temps réel les émissions de GES dans l'environnement, ce qui représente un défi de taille dans ces régions éloignées.



Alors, comment fonctionne le laser ?



Étudiant au doctorat : Pascal Paradis
Conception graphique : Amélie Marcoux et Audrey Perron

Partenaires

ABB Canada • Centre d'études nordiques • Hydro Québec • Institut national de la recherche scientifique • Photon... • TeraXion • Université Côte d'Azur

CRSNG NSERC Fonds de recherche Nature et technologies Québec INNOVATION Canada Foundation for Innovation Fondations canadiennes pour l'Innovation

Références

Paradis, P., Fortin, V., Aydin, Y. O., Vallée, R., & Bernier, M. (2018). 10 W-level gain-switched all-fiber laser at 2.8 μm. *Optics letters*, 43(13), 3196-3199.

Gaffalk, M., Olofsson, G., Cill, P. et al. Making methane visible. *Nature Clim Change* 6, 426-430 (2016). <https://doi.org/10.1038/nclimate2877>

Jobin, F., Paradis, P., Aydin, Y. O., Boillard, T., Fortin, V., Gauthier, J. C., ... & Vallée, R. (2022). Recent developments in lanthanide-doped mid-infrared fluoride fiber lasers. *Optics Express*, 30(6), 8615-8640.

COPL Centre d'optique, photonique et laser

Sentinelle Nord

UNIVERSITÉ LAVAL Faculté d'aménagement, d'architecture, d'art et de design École de design

PROPRIÉTÉS INSOUÇONNÉES DE LA MOUSSE DU NORD QUÉBÉCOIS

Une étude de Rosalie Lamoureux

L'étude

Le Nord québécois n'a pas beaucoup été exploré et il cache encore plusieurs secrets qui ne demandent qu'à être dévoilés. Avec ses conditions uniques, c'est un endroit propice à développer des végétaux fort intéressants. Dans ces nombreuses plantes nordiques, nous retrouvons le *Racomitrium Lanuginosum*. Recueillies dans la région du Nunavik, au Québec, cette bryophyte est au cœur d'une recherche photochimique unique en son genre pour mieux nous aider à comprendre notre territoire.

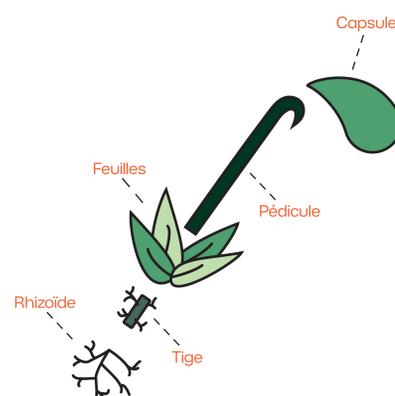
Pourquoi le nord Québécois

Le Nunavik est un territoire qui est méconnu dans le domaine et peu de recherches y ont été effectuées. L'environnement particulier qui y règne rend sa faune et sa végétation particulièrement intéressantes à observer. Les mécanismes de survie et d'adaptation créés par les organismes originaires de la région sont impressionnants et uniques.

Qu'est-ce qu'une bryophyte?

Le terme bryophyte désigne trois embranchements de plantes terrestres qui n'ont pas de systèmes vasculaires à proprement dit. Ce sont des mousses, des hépatiques et des anthocérotes. Les bryophytes sont des colonisateurs d'écosystèmes particuliers ce qui explique leurs propriétés extraordinaires. C'est aussi pourquoi elles sont à la base de l'arbre du vivant d'où en découle l'évolution des autres plantes terrestres.

ÇA RESSEMBLE À QUOI UNE BRYOPHYTE?



PROCESSUS D'EXTRACTION PHYTOCHIMIQUE COMMENT ÇA SE PASSE?



QUELQUES MOLÉCULES RETROUVÉES DANS LA MOUSSE NORDIQUE

Hexanal



Cette molécule qui fait partie de la famille des aldéhydes est présente dans plusieurs plantes. Elle leur donne cette odeur caractéristique de plante. L'hexanal est souvent un additif ajouté pour donner un goût ou une odeur de fraîcheur à un produit.

DANS NOTRE QUOTIDIEN

- Raisin
- Vin
- Assainisseur d'air
- Chandelle

Acide ursulique



Cette molécule provenant de la famille des triterpènes a des propriétés hydratantes, faisant en sorte qu'elle est souvent ajoutée dans des produits pour la peau vendus sur le marché.

DANS NOTRE QUOTIDIEN

- Plante à thé
- Thym
- Romarin
- Origan
- Pomme
- Pruneau
- Cosmétique

Acide malique



Cette molécule sert à la protection de la mousse contre l'humidité, un phénomène appelé dessiccation. Cet acide est un dérivé de l'acide succinique et il est souvent ajouté dans nos produits du quotidien pour contrôler le pH de ceux-ci.

DANS NOTRE QUOTIDIEN

- Pommes vertes
- Rhubarbe
- Vin
- Produit nettoyant
- Shampooing
- Revitalisant
- Baume à lèvres

Mentions et crédits
Rosalie Lamoureux
rosalielelamoureux@yahoo.ca

Visualisation d'information | Conception et réalisation graphique : Mathilde Lavoie et Sarah Bélanger
Année de production : 2022

Source :
Lamoureux, R. (2022). Investigation phytochimique d'échantillons nordiques de *Racomitrium lanuginosum*. Mémoire en chimie (Maîtrise ès sciences (M. Sc.)) Université Laval.

U.S. National Library of Medicine. (n.d.). Malic acid. National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Database. Révisé le 12 avril, 2022. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Malic-acid>

U.S. National Library of Medicine. (n.d.). Hexanal. National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Database. Révisé le 12 avril, 2022. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Hexanal#structurex=1>

Sentinelles Nord

UNIVERSITÉ LAVAL

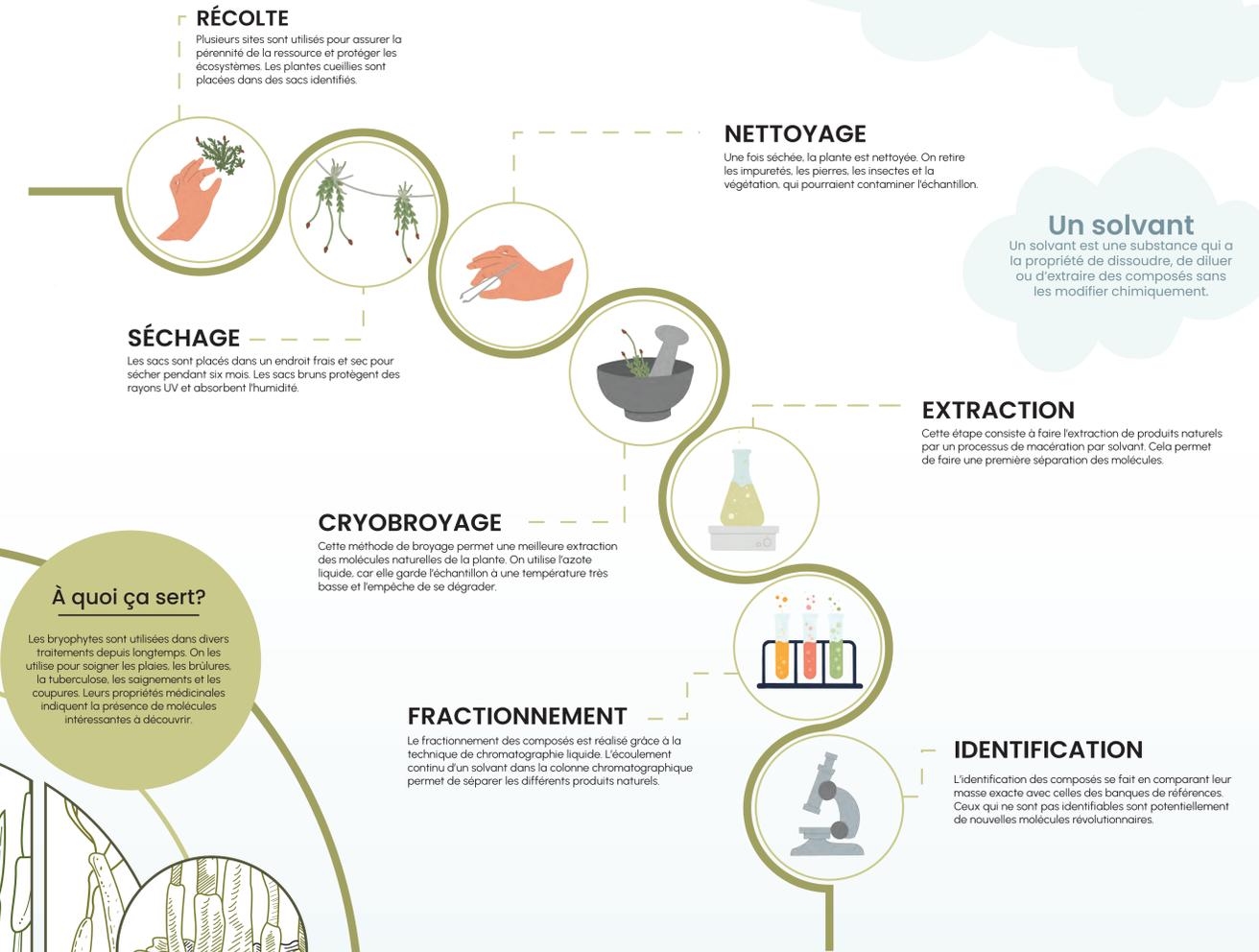
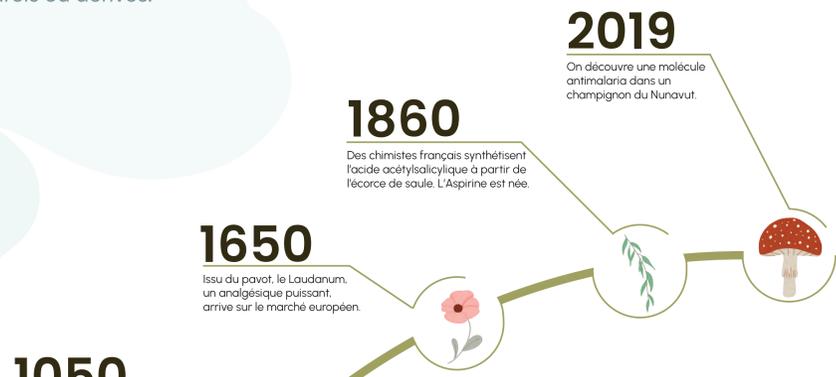
Faculté d'aménagement, d'architecture, d'art et de design
École de design

61 % des molécules à la base des médicaments sont des produits naturels ou dérivés.

40 % des médicaments utilisés en clinique sont des produits naturels.

3 Comment est-ce qu'on extrait les molécules des bryophytes?

Moins de 10 % des bryophytes ont fait l'objet d'investigations phytochimiques.



Un solvant
Un solvant est une substance qui a la propriété de dissoudre, de diluer ou d'extraire des composés sans les modifier chimiquement.

2 Depuis quand utilise-t-on les bryophytes pour se soigner?

Qu'est-ce qu'elles ont de spécial?

Les bryophytes sont utilisées dans divers traitements depuis longtemps. On les utilise pour soigner les plaies, les brûlures, la tuberculose, les saignements et les coupures. Leurs propriétés médicinales indiquent la présence de molécules intéressantes à découvrir.

À quoi ça sert?

Les bryophytes sont utilisées dans divers traitements depuis longtemps. On les utilise pour soigner les plaies, les brûlures, la tuberculose, les saignements et les coupures. Leurs propriétés médicinales indiquent la présence de molécules intéressantes à découvrir.

Pourquoi les étudier?

L'étude des métabolites secondaires permet de découvrir de nouveaux composés chimiques qui peuvent servir à créer de nouveaux médicaments. Les scientifiques pensent que les bryophytes pourraient être la source de nouveaux médicaments anti-inflammatoires, antibactériens et antifongiques.

Où ça se trouve?

On retrouve les bryophytes tout autour du globe. Elles constituent une proportion importante de la végétation des zones subpolaires comme le Nunavik.

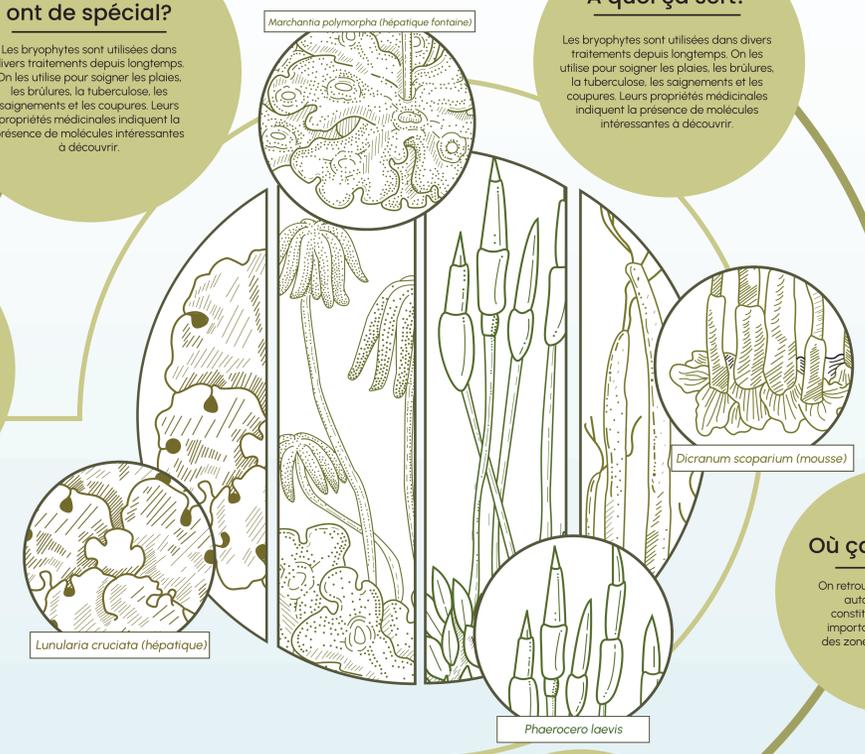
LES VERTUS CACHÉES DU NORD

On s'est tous déjà fait conseiller un remède de grand-mère, pour un mal de ventre ou une mauvaise grippe. Et si le cataplasme d'oignon ou l'infusion de gingembre avait bel et bien les mêmes propriétés que le tylenol ou le graval? Étonnement, les composés chimiques de ces plantes sont, comme des milliers d'autres, à la base de nos médicaments modernes. Après avoir fait le tour du jardin, les scientifiques se tournent maintenant vers les régions nordiques pour trouver de nouveaux composés chimiques. Ces recherches permettront peut-être de trouver le nouveau médicament contre le cancer ou l'Alzheimer.

1 Qu'est-ce que les bryophytes?

Une bryo...quoi?

Les bryophytes sont des végétaux qui poussent sur les rochers, les troncs d'arbres ou à même le sol. Ce sont des plantes sans système vasculaire. La famille des bryophytes comprend trois branches : les mousses, les hépatiques et les anthocérotes.



4 Qu'elles molécules intéressantes contiennent les bryophytes?

Lupéol Antimicrobien Anti-inflammatoire Chimio-protecteur Anticancer Contraceptif	Acide ursolique Anti-inflammatoire Anticancer Aide à prévenir l'obésité Anabolisant Revitalisant pour la peau	Acide laurique Anti-microbien Antiseptique Dégraissant Assainissant Antiacné
Présent dans 	Présent dans 	Présent dans

Pfff!
Un anabolisant est une substance qui entraîne un accroissement du système musculaire.

Sentinelle Nord

De la recherche à l'innovation

Un programme de recherche nordique par l'Université Laval



Notre équipe

175+
chercheuses et chercheurs

500+
étudiantes et étudiants diplômés et postdoctorants

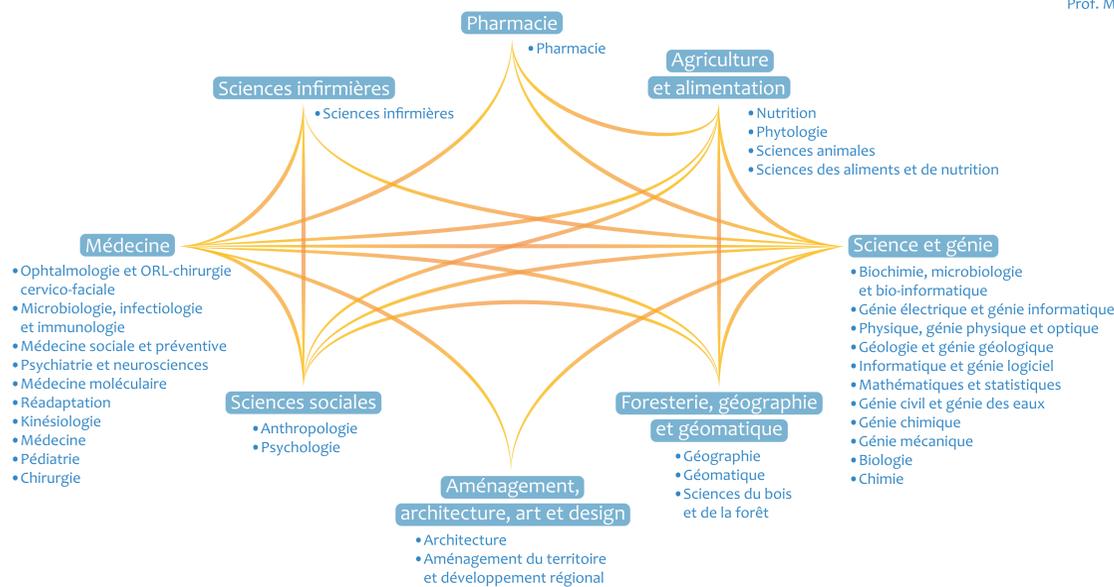
Sentinelle Nord est un programme de recherche de l'Université Laval regroupant plus de 165 chercheurs et 500 étudiants dans un cadre hautement interdisciplinaire. À l'aide de technologies innovantes, ces équipes se penchent sur une meilleure compréhension du Nord en changement afin de trouver les solutions qui contribueront au développement durable des écosystèmes et à la santé des populations.

Sentinelle Nord est né en 2015 à la suite de l'obtention d'une subvention majeure du Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada. Il obtient un mandat de près de 10 ans afin d'étudier le Nord. Au cours de ce mandat, le programme Sentinelle Nord met en place un environnement de recherche qui repousse les frontières du savoir.

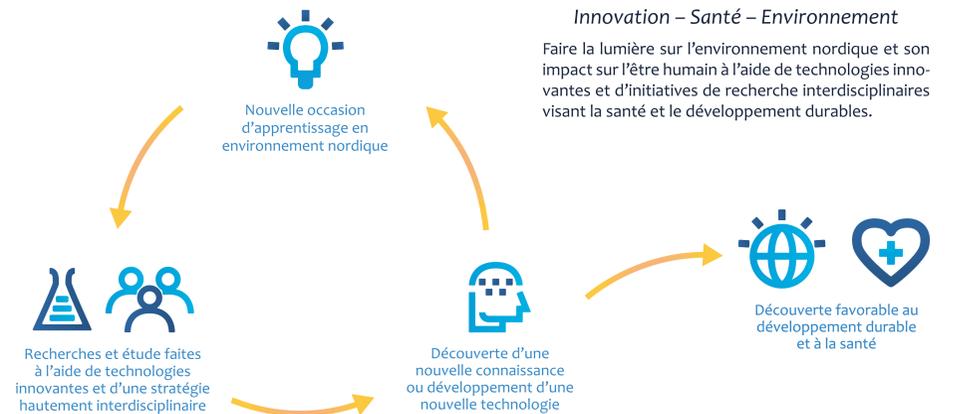
Directeurs scientifiques



Interdisciplinarité entre facultés et leurs départements



Notre vision



Notre impact

À travers sa stratégie de recherche et de formation, Sentinelle Nord aspire à former des agents du changement et à favoriser la collaboration interdisciplinaire. En plus de la connaissance issue des recherches développées au sein du programme, Sentinelle Nord souhaite léguer un modèle de recherche interdisciplinaire qui brise les silos et favorise la recherche collaborative.

L'étude du Nord



Toute la planète se réchauffe, mais le Nord se réchauffe plus rapidement que le reste de la Terre. Ces changements ont un impact direct sur la santé globale des populations nordiques en raison de la relation étroite qu'elles maintiennent avec leur environnement.

En plus d'être une source d'information indispensable pour mieux comprendre les modifications climatiques futures et s'y préparer, l'étude de ces changements est primordiale pour permettre d'apporter des réponses et des solutions aux modifications que vivent les communautés.

Avec une meilleure compréhension de l'environnement arctique, cela permet de recommander des actions concrètes et éclairées dans une perspective de développement et de santé durables, non seulement pour le Nord, mais pour le monde entier.

11 millions de dollars investis en éducation, afin de développer une relève scientifique

Plus de 400 publications révisées par les pairs, dont certaines publiées dans les meilleures revues scientifiques

Plus de 2100 communications scientifiques visant la santé et le développement durable

Plus de 20 pays participants pour encourager la collaboration internationale

Sources :
Sentinelle Nord (s. d.). Sentinelle Nord Site Internet.
Canada (s. d.). Cadre de concertation interprovinciale.
Sentinelle Nord (2020). Sentinelle Nord - Lumière sur le Nord [Rapport].
Sentinelle Nord (2020). Cadre de concertation interprovinciale [Rapport].
Sentinelle Nord (2020). Rapport d'état de la recherche.
<https://www.sentinellesnord.ca/fr/rapport-etat-de-la-recherche>

Mentions et crédits : Sentinelle Nord
Visualisation d'information - Conception et réalisation graphique :
Audrey Collin-Vézina & Jason Perron
Année de production : 2022