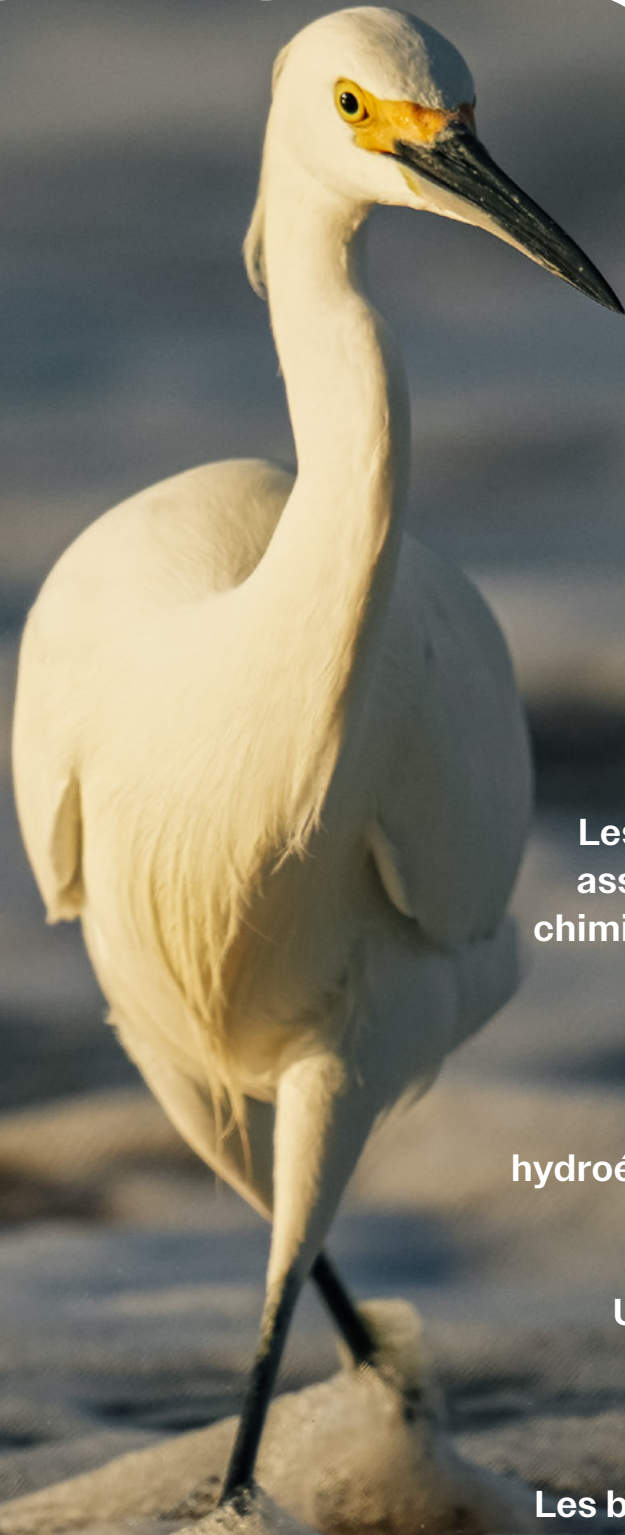


LE POINT BIOLOGIQUE



Volume 18 - 2024

**Un été parti
en fumée**

**Les parasites dans votre
assiette, les voulez-vous
chimiques ou biologiques ?**

**Courant d'injustice ?
L'impact des projets
hydroélectriques au Québec**

**Un repas plastifié pour
des insectes affamés**

**Les bryophytes, des alliées
pour la restauration**

Membres du comité

Nève Djevalikian-Couture

Marilou Lalumière

Annie-Claude Malenfant

Rose Morel

Catherine Morneau-Lépine

Maxime Vézina-Doré

Comité de sélection

Marine Corniou | Rédactrice en chef à Québec Science

Victor Danneyrolles | Professeur-chercheur à l'UQAC

Maxime Fraser Franco | Candidat au Doctorat
en Biologie

César Gabillot | Agent de recherche en restauration
de milieux naturels

Samuel Gladu | Technicien de laboratoire à l'UQAM

Oumar Kane | Professeur à l'UQAM

Simon Paradis | Technicien de laboratoire à l'UQAM

Daniel Rivest | V.P. Société de biologie de Montréal

Luc Rosebery | Membre du CA de la Société
de biologie de Montréal

Marc Rainville | Membre de la Société
de biologie de Montréal

Kristina Chuprina | Présidente de la Société
de biologie de Montréal

Caroline Tétrault | Présidente sortante de
la Société de biologie de Montréal

William Vickery | Professeur (retraité)
et professeur associé à l'UQAM

Encadrement professoral

Alain Paquette

Said Kourrich

Graphisme et mise en page

Sous les étoiles — studio graphique

Table des *matières*



*Marilou
Lalumière*

*Maxime
Vézina-Doré*

*Nève
Djevalikian-Couture*

*Annie-Claude
Malenfant*

*Catherine
Morneau-Lépine*

*Rose
Morel*

Le comité du *Point Biologique*

Nous sommes fier·e·s de vous présenter la 18^e édition de la revue uqamienne *Le Point Biologique* ! Ce fut tout un périple, mais nous y voilà, et nous sommes plus qu'heureux et heureuses de vous offrir un produit unique qui vous fera découvrir tous les angles de sujets d'actualité fascinants.

La revue regroupe des articles de vulgarisation scientifique rédigés par des étudiant·e·s au baccalauréat en biologie en apprentissage par problème. Dans le cadre d'un cours de communication scientifique, les finissant·e·s ont écrit sur des sujets qui les passionnent afin de consolider les connaissances acquises au fil de leur parcours. Les étudiant·e·s des trois disciplines de spécialisation (écologie, toxicologie et biologie moléculaire et cellulaire) se sont donc réunis afin de joindre leurs connaissances dans le but commun de créer du contenu accessible et enrichissant, et afin de promouvoir la culture étudiante et scientifique. Un an durant, chaque équipe a fait des recherches extensives en plus d'*interviewer* plusieurs expert·e·s qui les ont informés sur les enjeux que vous vous apprêtez à lire. Il s'agit donc de *cinq articles* élus par un comité de sélection composé de spécialistes dans divers champs du domaine des sciences. De plus, cette année

on vous offre un article pas comme les autres. Huit de nos meilleur·e·s auteur·e·s ont mis en commun leurs écrits afin de vous communiquer un sujet qui a touché tout le monde à l'été 2023. On vous offre alors un article allongé sur les feux de forêts au *Québec*. Un remerciement spécial à Gabrielle Gingras, Émile Patry, Joannie Loranger, Jasmine Ucler et Olivier Paillé qui ont rendu la fusion des deux articles possible ! Pour les intéressé·e·s, les articles originaux respectifs sont disponible sur la page web du Point biologique www.lepointbiologique.com/volume-18-2024/.

Depuis 2007, *Le Point Biologique* est une revue gratuite qui permet de rendre la science accessible à tous·tes. À l'heure actuelle, il est primordial d'assurer une communication claire des enjeux auxquels fait face la population.

Grâce au comité du *Point Biologique*, composé d'étudiant·e·s finissant·e·s au bac, vous tenez entre vos mains une revue dédiée à vous livrer cette information sous une forme engageante et amusante qui, on l'espère, saura vous plaire.

Bonne lecture !

Par Christophe Rouleau-Desrochers,
Émile Patry,
Gabrielle Gingras,
Jasmine Ucler,
Joannie Loranger,
Maxime Vézina-Doré,
Olivier Paillé
et Yeganeh Yazdi Moghaddam



Un été parti en fumée

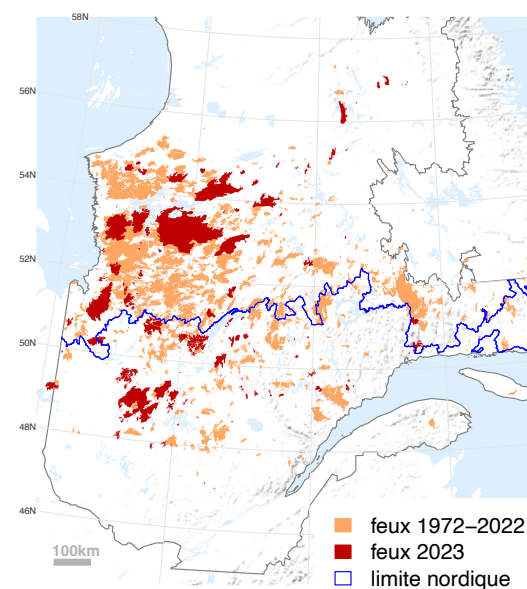
À l'été 2023, le Québec brûlait tous les records. Les millions d'hectares de forêt brûlés ont entraîné la libération de particules fines qui ont détérioré la qualité de l'air. Plusieurs experts en environnement et en santé publique ont exprimé leurs préoccupations quant aux conséquences des feux sur l'environnement, la biodiversité et la santé humaine.

Le printemps 2023 annonce une belle saison ! Le soleil est au rendez-vous et la température est idéale pour les terrasses. Mais au nord, dans la forêt boréale, un scénario tout autre se dessine. La chaleur persistante et l'absence de précipitation du mois d'avril provoquent une sécheresse anormale. Puis, le 1^{er} juin, la foudre s'abat sur l'ensemble du Québec. Dans leur sillage, les éclairs allument un nombre record de 183 incendies qui s'ajoutent aux nombreux brasiers déjà en cours. Les vents propagent les panaches de fumée de New York à l'Europe. La province est plongée dans un nuage dense et nocif pendant plusieurs semaines. Évitez l'extérieur ! Portez un masque ! Le triathlon de Montréal est annulé ! L'effet des feux se fait sentir, au propre comme au figuré, dans toute la province. Les images de Montréal prisonnière d'un smog orangé frappent l'imaginaire et le temps de quelques jours, plusieurs se demandent s'il s'agit de leur nouvelle réalité. Au final, c'est 4,3 millions d'hectares qui ont brûlé, dont plus de 3 millions d'hectares en forêt boréale, une superficie supérieure à celles des 20 dernières années réunies.

En quoi l'ampleur des feux de 2023 diffère des années précédentes ?

Les feux historiques de 2023 ont suscité des débats enflammés. Plusieurs se demandent s'il y a vraiment eu plus de feux au Québec et surtout, si les changements climatiques en sont responsables. Bien que le nombre de feux ait été supérieur en 2023, le plus inquiétant est l'augmentation extraordinaire de la superficie de forêt brûlée. Depuis les 10 dernières années, les feux ont brûlé en moyenne 15 000 hectares de forêts par an dans la zone de protection intensive par la SOPFEU. En 2023, la superficie brûlée a été multipliée par 70 ! Plus d'un million d'hectares de forêt ont été brûlés en zone de protection intensive, ce qui équivaut à environ 25 fois la superficie de l'île de Montréal. Pour ajouter au désastre, 3 millions d'hectares supplémentaires ont été brûlés en zone nordique. La foudre serait à la source de plus de 99 % de la superficie brûlée.

99 % des feux ont été déclenchés par la foudre



Régions du Québec qui ont été touchées par les feux de forêt au cours de la période de 1972 à 2023. Le territoire québécois est divisé en deux zones, la zone de protection intensive (située au sud de la ligne bleue) et la zone nordique (située au nord de la ligne bleue). Les feux historiques et ceux de 2023 sont majoritairement distribués en zone nordique. Le mandat confié à la SOPFEU et les critères d'intervention varient entre ces deux zones.

Lors d'une saison « normale » de feux, le Québec connaît en moyenne deux ou trois feux hors contrôle, c'est-à-dire qu'ils continuent de progresser malgré les efforts de combat des pompiers forestiers. Exceptionnellement, l'été 2023 a compté 193 feux classés « hors contrôle ». La chercheuse scientifique D^{re} Sylvie Gauthier de Ressources naturelles Canada affirme qu'« éteindre un feu de grande envergure, c'est comme essouffler un ouragan, c'est humainement impossible ! ». Ceci est d'autant plus vrai dans la forêt boréale où l'abondance de conifères rend le couvert forestier très inflammable. En raison du nombre record de feux actifs et de leur statut « hors contrôle », la capacité opérationnelle des pompiers forestiers de la SOPFEU a été dépassée dès la dernière semaine de mai.

« Éteindre un feu de grande envergure, c'est comme essouffler un ouragan, c'est humainement impossible ! »

D^{re} Sylvie Gauthier



Plus de 2360 personnes sont venues prêter main-forte aux équipes de la SOPFEU, dont 1000 militaires des Forces canadiennes, en plus d'une aide internationale en provenance de la France, du Portugal, des États-Unis, de l'Espagne et de la Corée du Sud.

Philippe Gachon, professeur d'hydroclimatologie à l'UQAM, explique le phénomène par un cocktail météorologique parfait. Dans le Nord-du-Québec, le printemps 2023 a été particulièrement hâtif, provoquant une fonte rapide des neiges. Là encore, les températures et le nombre de séquences de jours sans précipitations ont battu des records. La saison des feux a donc démarré très tôt. Les conditions de sécheresse se sont ensuite poursuivies tout au long de l'été, favorisant le maintien et la propagation de ces feux dévastateurs.

Les feux : perturbateurs naturels

Malgré leur apparence destructrice, les feux font partie intégrante du paysage de la forêt boréale. Ils créent des ouvertures permettant à la lumière d'atteindre le sol et libèrent des tonnes de nutriments, ce qui à terme, permet la croissance de nouveaux arbres. Ces perturbations s'inscrivent donc dans un cycle de régénération normale de la forêt. Les espèces qui parsèment la forêt boréale sont d'ailleurs bien adaptées à ces perturbations et ont besoin des feux pour compléter leur cycle de vie. Le pin gris et l'épinette noire, par exemple, ont besoin de la chaleur des feux pour libérer les graines de leurs cônes. Les graines profitent ainsi des éclaircies de la forêt pour germer et croître, ce qui contribue aux renouvellements de l'écosystème.

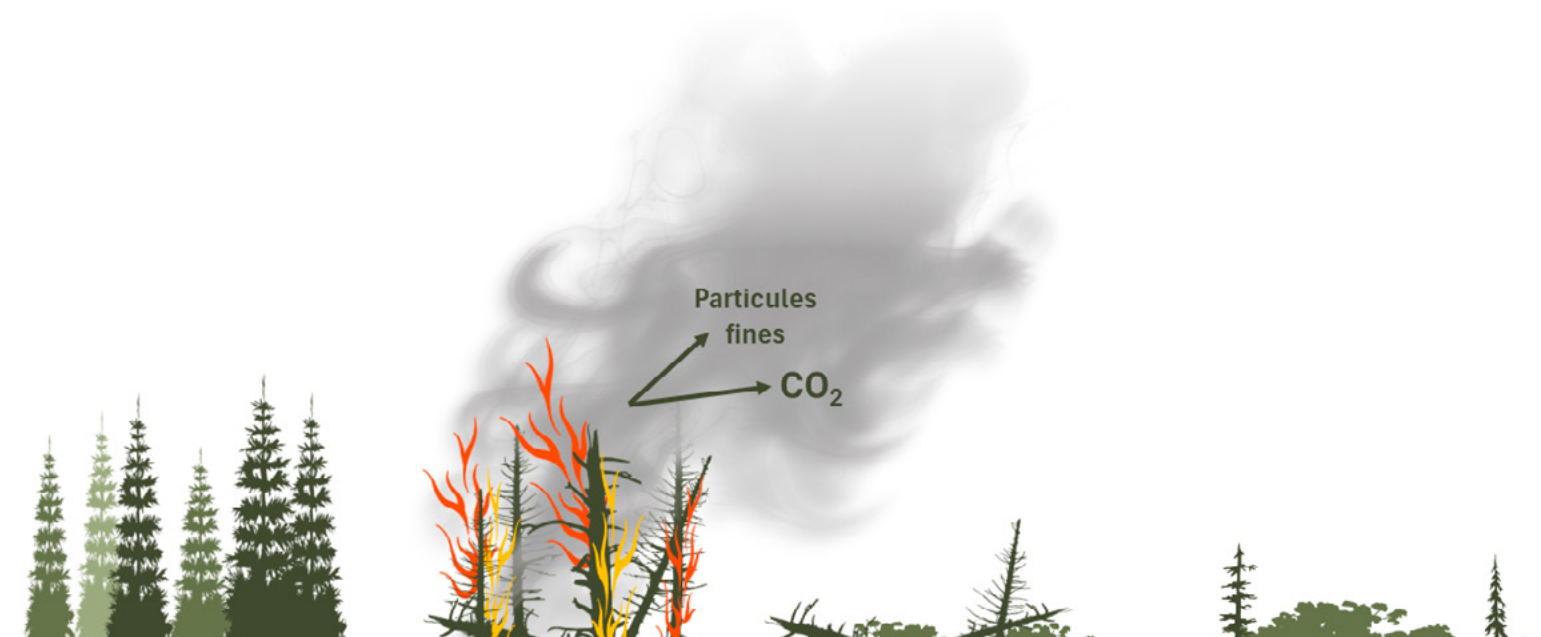
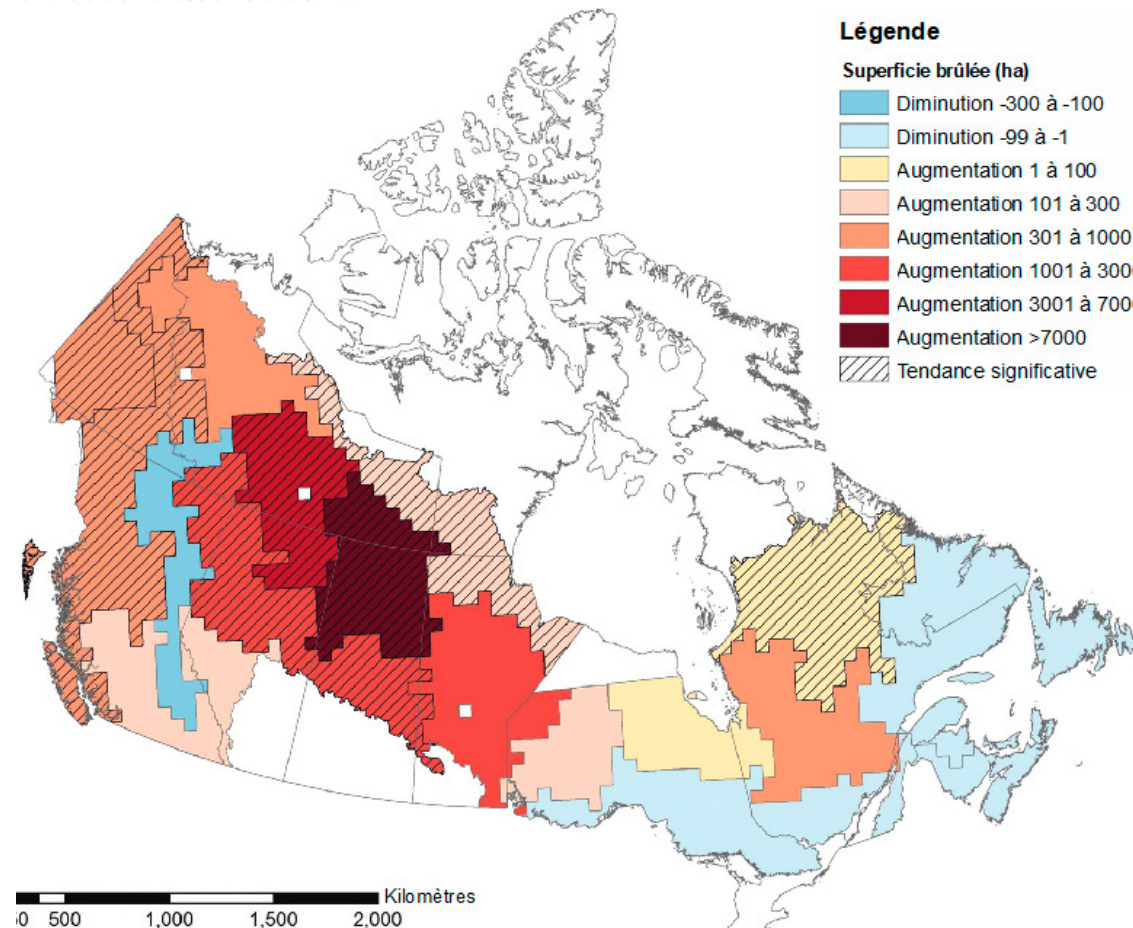
Trop de feux, c'est comme pas assez !

La superficie brûlée et la fréquence des feux tendent à augmenter dans certaines régions du Québec depuis quelques décennies. Une étude publiée dans le journal *Canadian Journal of Forest Research* en 2018 a démontré que la superficie brûlée en forêt boréale au nord du Québec tend à augmenter depuis 1980. À cela s'ajoute une hausse du nombre de feux observés en forêts mixtes et feuillues au sud du Québec.

Victor Danneyrolles, professeur et chercheur en écologie forestière à l'UQAC, mentionne que le risque principal est lié aux échecs de régénération de la forêt, c'est-à-dire des zones où les arbres ne repoussent plus. À cet égard, l'industrie forestière a sa part de responsabilité, car elle a grandement contribué à modifier le visage de la forêt québécoise. La plupart des forêts en dessous de la limite de la zone nordique sont soumises à des pratiques de gestion extensive. Cela signifie qu'après des coupes forestières totales, on laisse les arbres repousser naturellement. Les arbres de ces forêts sont donc plus jeunes. Une augmentation de la fréquence des feux peut empêcher les arbres d'arriver à maturité sexuelle, ce qui compromet la production de graines. L'épinette noire a peut-être besoin des feux pour libérer ces graines, mais elle nécessite au moins 50 ans avant de produire des cônes aux graines viables. Si des incendies ravagent la forêt avant que les arbres atteignent la maturité, la repousse des épinettes sera impossible en raison de l'absence de graines dans le sol.

D^{re} Sylvie Gauthier souligne qu'à long terme, la résilience des forêts, c'est-à-dire la capacité des écosystèmes de revenir à leur état fonctionnel initial à la suite d'une perturbation, risque d'être gravement affectée. Cette résilience dépend en partie de la composition de la forêt, notamment des espèces et de l'âge des arbres présents. Les coupes forestières et la hausse des cycles des feux pourraient rajeunir l'âge moyen des arbres, en plus de favoriser une transition vers des forêts dominées par des feuillus. Les feuillus comme le bouleau blanc et le tremble sont des espèces moins inflammables que les conifères, ce qui pourrait à long terme contribuer à réduire l'occurrence des feux à l'échelle locale. Victor Danneyrolles rappelle toutefois que des feux plus fréquents limitent l'établissement des espèces non adaptées, menant au risque d'absence totale de régénération. Ces différents scénarios risquent de perturber l'équilibre des écosystèmes forestiers, ce qui pourrait affecter la biodiversité végétale et animale. Par exemple, le taux de mortalité des animaux est susceptible d'augmenter en raison de la perte de disponibilité de la nourriture et des habitats exclusifs aux vieilles forêts.

Tendances de superficies de forêt brûlée par les feux de forêt d'origine humaine et naturelle entre 1980 et 2015 au Canada.



Les forêts perturbées sont principalement composées de jeunes arbres qui n'ont pas atteint la maturité.

Les jeunes arbres survivent plus rarement au passage d'un feu.

Les espèces pionnières colonisent les éclaircies laissées par le feu.

L'absence de graines viables et d'espèces de succession tardive à proximité limite la repousse de la forêt.

Échec de régénération

Dans un contexte de changements climatiques, il ne faut pas négliger les conséquences de la perte de ces forêts sur notre bilan de carbone. Selon Copernicus, programme de l'Union européenne de collecte de données sur l'état de la Terre, les feux de forêt canadiens sont responsables à eux seuls de la libération de 480 mégatonnes de carbone atmosphérique (CO₂). La saison des feux 2023 a donc, encore une fois, pulvérisé le précédent record de 138 mégatonnes de CO₂ enregistré en 2014. Au Canada, la quantité de carbone libérée par les feux de forêt peut facilement dépasser celle issue des combustibles fossiles au pays. Il faudra également de nombreuses années avant que la forêt se régénère suffisamment et puisse séquestrer le carbone au même niveau que la forêt préexistante. Jusqu'à tout récemment, la forêt boréale était considérée comme un puits accumulant le carbone malgré les incendies fréquents. Les changements climatiques et l'augmentation de la concentration de CO₂ avaient même contribué à augmenter la productivité végétale en favorisant une photosynthèse accrue. Toutefois, la forêt québécoise qui auparavant maintenait son statut de puits de carbone par l'absorption du CO₂ semble transitionner vers une forêt qui émet plus de carbone qu'elle n'en absorbe. Cette forêt deviendra donc une source de carbone si des épisodes de feux intenses et une exploitation forestière intensive se perpétuent.

Le caribou et les feux

Le caribou forestier est une espèce désignée vulnérable par la Loi sur les espèces menacées ou vulnérables du Québec. Les feux de forêt et la coupe forestière sont les principales perturbations qui affectent la survie de ce mammifère en diminuant la superficie de forêt âgée. Ces perturbations peuvent créer des effets de cascades dans l'écosystème, c'est-à-dire qu'un effet néfaste entraîne une conséquence qui, à son tour, cause un autre effet néfaste. Par exemple, des feux plus fréquents et de plus grande intensité nuisent aux communautés de microorganismes et de champignons en forêt boréale. Cela diminue par le fait même la quantité de lichen disponible, un aliment essentiel au caribou forestier. En somme, le caribou a besoin de forêts matures pour survivre, puisque des forêts jeunes ne fournissent pas les ressources alimentaires ni l'habitat nécessaires à la survie du caribou.



Vue de Montréal sous le smog le 25 juin 2023 depuis le Mont-Royal

De la fumée de Montréal à New York

Hormis les effets sur les forêts, les feux ont également des répercussions sur la santé humaine. À l'été 2023, la grande région de Montréal s'est retrouvée plongée dans un épais nuage de fumée. L'indice de qualité de l'air IQAir sur l'île a atteint une valeur record de 239. Ce chiffre est particulièrement frappant, considérant que la norme se situe entre 0 et 50. Du même coup, la ville a obtenu la marque peu enviable de la pire qualité de l'air au monde ! D' Gachon explique que cet épisode de smog intense est directement lié à l'intensité des feux dans le Nord de la province. De plus, l'absence de précipitations a favorisé le maintien des particules en suspension dans l'air, alors que les courants d'air nord-sud ont poussé le panache de fumée jusqu'au sud de la frontière.

Lors des incendies de forêt, la combustion des arbres libère des particules fines (PM_{2,5}), des composés organiques volatils (COV), des oxydes d'azote (NO_x), du dioxyde de soufre (SO₂) et du monoxyde de carbone (CO). Dans de bonnes conditions météorologiques, ces substances issues de la combustion incomplète de la biomasse se mélangent à l'ozone (O₃) pour donner naissance à un vaste nuage de smog. De plus, les journées estivales chaudes et ensoleillées, caractérisées par un déplacement d'air lent et un ensoleillement intense, favorisent la production d'ozone. C'est pourquoi le smog est plus intense lors des périodes estivales. Environnement Canada affirme que les concentrations d'ozone dans le pays pourraient quintupler d'ici 2045 en raison des changements climatiques. Cette augmentation est très préoccupante pour la qualité de l'air des prochaines années.

Mais qu'est-ce qu'une particule fine ?

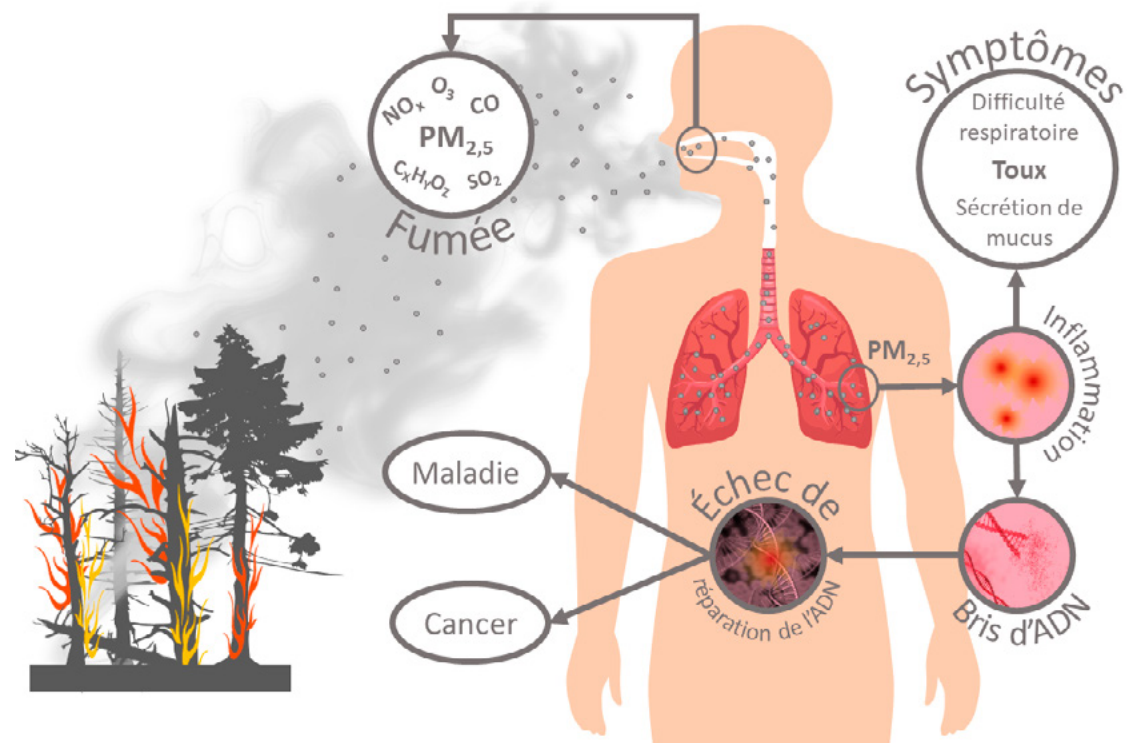
Souvent appelée PM pour matière particulaire, une particule fine est une particule en suspension dans l'atmosphère, caractérisée selon son diamètre en micromètres par trois classes :

PM 10 micromètres

PM 2,5 micromètres

PM 1,0 micromètre

Les PM₁₀ sont celles qui présentent le risque le plus élevé en raison de leur taille encore plus petite.



Effets des particules fines et des polluants présents dans le smog sur le système respiratoire

Faut-il s'inquiéter pour notre santé ?

Diverses recherches ont confirmé que les particules fines représentent une menace significative pour notre système respiratoire et circulatoire en raison de leur capacité à pénétrer profondément dans l'organisme. Les PM_{10} vont circuler du pharynx jusqu'aux bronches des poumons où elles causent de l'irritation et de la toux. Les $PM_{2,5}$, qui ont une taille encore plus petite, peuvent pénétrer dans les alvéoles pulmonaires, puis dans la circulation sanguine, augmentant ainsi l'inflammation et favorisant l'apparition de maladies cardiovasculaires et sanguines. Une fois dans les poumons, ces particules entravent l'échange vital d'oxygène avec le sang, entraînant une légère diminution du taux d'oxygène dans l'organisme. Bien que souvent tolérable, cette situation peut aggraver les symptômes chez les individus déjà affectés par des maladies chroniques telles que la défaillance cardiaque.

Il existe également des particules ultrafines, connues sous le nom de PM_{10} , qui posent des risques significatifs en raison de leur taille minuscule. Elles entraînent une inflammation accrue et perturbent les interactions cellulaires, favorisant ainsi le développement de maladies inflammatoires et auto-immunes. Ces particules sont si petites qu'elles peuvent atteindre le cerveau et potentiellement contribuer à l'émergence de maladies neurodégénératives, telles que la démence.

Une flambée de cancers ?

Des études récentes indiquent que les personnes vivant à proximité des feux ont un risque plus élevé de développer des cancers. Effectivement, les particules dégagées par les feux peuvent se rendre aux poumons, mais aussi contaminer les sols, les étendues d'eau et les nappes phréatiques. De fortes concentrations de composés dangereux pour notre santé ont été retrouvées dans des charbons de bois cinq ans après un feu. Les polluants cancérigènes dégagés par les feux sont très préoccupants selon D^r David Kaiser, directeur associé de la santé publique de la ville de Montréal et spécialiste en santé publique et médecine préventive. Le plus inquiétant, selon lui, serait une augmentation de l'occurrence des feux d'une ampleur comme à l'été 2023, ce qui augmenterait drastiquement les niveaux de particules fines dans l'air. Il souligne qu'une journée où l'air est de mauvaise qualité n'est pas trop grave. Néanmoins, si des épisodes comme ceux de l'été dernier reviennent chaque année, les conséquences sur la santé publique liées à l'exposition à la fumée risquent d'augmenter de façon substantielle. À la suite de nombreuses expositions au smog, les personnes souffrant de maladies pulmonaires, comme les asthmatiques, peuvent voir leurs crises d'asthme s'intensifier en raison de l'inhalation des particules fines et du dioxyde de soufre. De plus, certains métaux spécifiques à l'intérieur des particules fines peuvent engendrer des dommages à l'ADN, et donc augmenter le risque de développement de cancers. Par ailleurs, l'exposition aux composés issus de la combustion des arbres n'est pas que de courte durée. Même après la disparition du smog, les particules peuvent rester dans notre corps pendant plus d'une décennie et dans l'environnement pendant des centaines d'années.

Les dangers cancérigènes des feux de forêt semblent toutefois varier, car la toxicité de la fumée dépend de la matière qui est brûlée. Des chercheurs ont démontré que la fumée libérée par la combustion de conifères est plus toxique que celle libérée par les feuillus. En 2023, ce sont surtout des conifères qui sont partis en fumée au Québec. En effet, les feux ont eu lieu majoritairement au sein de forêts boréales, dominées par le pin, le sapin et l'épinette, ce qui a occasionné une fumée particulièrement chargée en particules fines. Il est donc primordial de considérer quel type de forêt sert de combustibles afin de mieux cerner la toxicité de la fumée dégagée et ainsi mieux évaluer les risques pour la santé humaine.

Les dioxines : la seconde menace !

Outre les particules fines et ultrafines, les feux de forêt génèrent une grande variété de contaminants environnementaux. Parmi ceux-ci se trouvent les hydrocarbures aromatiques polycycliques et les dioxines. Les dioxines sont une famille de composés pouvant persister très longtemps dans l'environnement et qui peuvent s'accumuler dans les graisses humaines et animales. Elles peuvent aussi causer un éventail de conséquences néfastes sur l'organisme. Le TCDD est la dioxine la plus toxique et la plus connue.

Le TCDD est produit lors de la combustion de matière organique, comme celle des arbres pendant les feux de forêt. Il est également un sous-produit involontaire de plusieurs activités humaines, dont l'incinération de déchets et la production de pâte à papier. Sa structure chimique lui confère une stabilité exceptionnelle dans l'environnement, où son aversion à l'eau le mène à s'accumuler dans les sols et les sédiments. Cette même structure chimique lui octroie toutefois une grande affinité pour les tissus adipeux, ce qui permet au TCDD de s'accumuler dans plusieurs éléments de notre alimentation comme le lait, la viande, les poissons et à terme, dans nos propres réserves de graisse. Une fois dans le corps humain, les dioxines sont là pour rester puisqu'une molécule de TCDD peut demeurer de 10 à 16 ans dans l'organisme avant d'être éliminée.

Malheureusement, les dioxines entraînent des conséquences négatives sur la santé, et ce, même à de faibles niveaux d'exposition. Le TCDD est considéré comme un composé cancérigène par l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Lorsqu'il pénètre dans les cellules humaines, il influence la différenciation cellulaire et peut ultimement causer des cancers.

Mais, ne paniquez pas tout de suite ! Mathieu Simon, chef du département des soins intensifs à l'institut de cardiologie et pneumologie de Québec, rappelle qu'il n'y a pas lieu de s'inquiéter pour le moment. Les épisodes de smog passagers, comme celui de juin 2023, induisent très rarement des effets secondaires graves. La plupart des gens ne ressentiront qu'un inconfort respiratoire à l'extérieur. Des symptômes légers peuvent également apparaître, en particulier une irritation des voies respiratoires en raison de l'inflammation des cellules et de l'augmentation des sécrétions de mucus. Dans le pire des cas, cette inflammation pourrait conduire au développement de pneumonie ou de bronchite. Cependant, ces risques de complications demeurent faibles dans la population en bonne santé. Il faudrait que de tels feux de forêt deviennent considérablement plus récurrents pour observer des conséquences majeures sur la santé de la population. Par contre, les jeunes enfants et les gens qui souffrent de maladies pulmonaires sont tout de même plus à risque de développer des problèmes aux poumons en raison de leurs systèmes respiratoire et immunitaire immatures.

Comment peut-on se protéger lors d'épisodes de feux de forêt ?

Comme le dit le D^r Simon, « il faudrait commencer par prendre soin de notre planète ». En attendant, lors des prochains épisodes de feux de forêt, les mesures préventives à notre disposition sont plutôt limitées. Il recommande tout d'abord d'éviter les activités en plein air et de maintenir les fenêtres fermées. Dans le cas où une sortie extérieure s'avère essentielle, les masques N95 peuvent offrir une protection contre certaines particules fines. Cependant, il convient de noter que son port entraîne une augmentation de la charge de travail respiratoire en raison de l'accroissement de la résistance à l'écoulement de l'air dans les poumons. Cette considération peut influencer la pertinence de son utilisation.

Impacts sociaux ?

Les conséquences sociales des feux de forêt de 2023 ont également atteint un niveau sans précédent. Effectivement, des milliers de citoyens de l'Abitibi et de la Jamésie ont été évacués d'urgence puisque les feux se rapprochaient dangereusement de leur municipalité. De plus, les maires et les mairesses ont dû coordonner des opérations pour lesquelles aucune formation ne leur avait été donnée. Cela a entraîné des situations extrêmement stressantes qui ont malheureusement mené à l'épuisement professionnel de la plus jeune mairesse au Québec, Isabelle Lessard, mairesse de Chapais. Effectivement, cette dernière rapportait au journal *Le Devoir*, le 8 novembre 2023 : « J'en voulais un peu à la vie. Je me disais : "Câline, pourquoi il a fallu que ça arrive ces feux-là, ça n'a pas de bon sens" ». Un témoignage poignant qui souligne la détresse des décideurs pendant cette catastrophe naturelle dans une région éloignée des grands centres urbains.

« Il faudrait commencer par prendre soin de *notre planète* »

D^r Mathieu Simon

Un avenir entre espoir et pessimisme

Quel avenir pour la forêt ?

Selon Victor Danneyrolles, il faut toutefois demeurer optimiste. Sur les 4,3 millions d'hectares brûlés, environ 350 000 sont à risque d'échec de régénération. Cela paraît énorme, mais en comparaison avec la superficie totale de la forêt boréale québécoise (100 millions d'hectares selon le gouvernement québécois), c'est assez peu. De plus, même si ces incendies sont inhabituels comparativement aux données enregistrées depuis 1970, ils ne sont pas en dehors des cycles de feux qu'a connus la forêt au 18^e et 19^e siècle. Si le passé est garant de l'avenir, on sait que la forêt va se rétablir ou s'adapter au fil du temps, même s'il s'agit d'un processus long et difficile à évaluer au cours d'une vie humaine.

Cependant, les incendies du Québec de 2023 ont atteint une ampleur inégalée dans l'histoire récente des feux. Cet épisode extrême a révélé la fragilité des écosystèmes forestiers face aux changements climatiques. M. Gachon abonde en ce sens et critique du même souffle l'inaction du gouvernement, car les impacts sur nos sociétés sont imminents.

« De 1950 à aujourd'hui, le réchauffement au Canada est 2 fois plus important que celui dans l'ensemble du globe. [...] Il est impossible d'expliquer l'ampleur des incendies de l'été dernier sans tenir compte des changements climatiques ».

M. Gachon



Les coûts de reboisement dans la forêt boréale sont très élevés en raison de l'étendue du territoire et de l'absence de route pour atteindre les régions reculées.

La probabilité qu'un tel événement se reproduise dans le futur est également deux fois plus élevée dans le climat actuel. L'augmentation des températures diminue l'humidité du couvert végétal et prolonge la saison des feux, ce qui favorise des incendies plus graves et plus fréquents. L'Ouest canadien est déjà aux prises avec une augmentation marquée du régime des feux et ce scénario risque bientôt de s'imposer au Québec. D'autres phénomènes découlant des changements climatiques contribuent également à exacerber le problème. Des épidémies d'insectes, comme la tordeuse des bourgeons de l'épinette, montent progressivement vers le nord en raison des températures plus douces. Ces insectes laissent derrière eux une grande quantité d'arbres morts qui contribue à l'inflammabilité de la forêt. Tous ces facteurs accentuent les risques d'échec de régénération.

Si rien ne change, la productivité de la forêt va diminuer, alors que les coûts associés à la gestion des feux vont exploser. Par exemple, le matériel et le personnel pour combattre les incendies à l'été 2023 étaient largement insuffisants. Une aide extérieure a dû venir en soutien aux équipes de la SOPFEU pour contrôler les brasiers. Le Quotidien rapporte aussi qu'il en coûtera 200 000 000 \$ au gouvernement pour reboiser seulement 25 000 hectares sur les 350 000 hectares en échec de régénération. Cette nouvelle réalité pressante se doit d'être adressée par des mesures d'atténuation afin de rendre les forêts plus résilientes. Les solutions actuelles reposent essentiellement sur une diminution du volume de bois coupé et un changement des méthodes d'exploitation. Sans la volonté du gouvernement de mieux encadrer l'industrie forestière, la forêt boréale est susceptible de connaître des modifications drastiques.

Quel avenir pour la population ?

Au niveau de la santé humaine, les conséquences des feux et des épisodes sporadiques de smog sont encore limitées. Cependant, le D^r Simon précise que « si ces épisodes devenaient plus fréquents, on devrait s'inquiéter pour les personnes qui souffrent déjà de maladies chroniques et pour les jeunes enfants de moins de 5 ans ». Des préoccupations réelles de santé publique sont donc susceptibles d'émerger dans les prochaines années. Les changements climatiques contribuent encore une fois à ce risque en favorisant des feux plus intenses, et par le fait même, un taux de pollution atmosphérique plus élevé. Des pays comme la Chine peuvent nous donner un avant-goût des répercussions négatives associées à la pollution atmosphérique. Même si l'origine du smog en Chine est davantage associée à la combustion des énergies fossiles qu'aux incendies de forêt, les conséquences finales demeurent similaires. Année après année, la Chine rapporte malheureusement plus d'un million de décès en raison des particules fines en suspension dans l'air (PM_{2,5}). Cela implique que si les incendies de forêt deviennent plus fréquents et que la population québécoise est exposée à des concentrations accrues de particules fines et d'autres composantes de la fumée, notre espérance de vie est susceptible de diminuer. À l'été 2023, le Québec a brûlé tous les records, mais tous les records ne sont pas bons à battre !

Par Sophie Capelier,
Jules Cazaubon,
Annie-Claude Malenfant
et Rose Morel

Les *parasites* dans votre assiette, les voulez-vous chimiques ou biologiques ?



Contrairement à ce que l'on pourrait penser, l'utilisation de produits chimiques en agriculture pour lutter contre les insectes ravageurs ne date pas d'hier. Les premières traces de pesticides en agriculture datent de 1000 ans av. J.-C. avec le soufre dans les cultures de vigne en Grèce. Cependant, l'explosion démographique des 100 dernières années a perturbé l'agriculture mondiale. L'utilisation de masse de pesticides s'est vue comme la solution rapide, facile et efficace pour contrer les pertes dues aux ravageurs et pour répondre aux exigences alimentaires de l'humanité. Aujourd'hui, force est de constater que l'application massive de pesticides n'a pas été l'option la plus durable qu'il soit. C'est pourquoi des méthodes plus respectueuses de l'environnement et de la santé humaine ont été développées, et cela a donné lieu à un terme devenu populaire : la lutte biologique. Ce type de lutte permet d'éliminer les ravageurs via d'autres organismes vivants. Ainsi, nous retrouvons un moyen de lutte qui pourrait nous paraître surprenant : l'utilisation de parasitoïdes. Les parasitoïdes sont des êtres vivants qui parasitent un hôte, ce qui mène à la mort de celui-ci. C'est parfait pour le contrôle des ravageurs ! Mais s'agit-il d'une solution miracle ?



Champ de canola

Des trous dans sa salade, ce n'est pas très agréable...

Vous vous demandez peut-être, « mais qui sont les ravageurs ? ». Ce sont des organismes vivants qui viennent se délecter de nos denrées alimentaires détruisant ainsi une partie de nos récoltes. En effet, selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, les pertes liées aux ravageurs sont estimées à 40 % de la production mondiale de nourriture par an !

Les organismes les plus connus qui causent des troubles à nos légumes sont des insectes comme les pucerons, la punaise terne, les doryphores ou encore les thrips que vous avez peut-être rencontrés dans vos jardins.

Le Québec compte une grande diversité de ravageurs. Par exemple, nos vergers de pommes, véritable emblème de la culture québécoise, sont victimes d'au moins cinq types de ravageurs. Les propriétaires de vergers sont donc appelés à surveiller attentivement leurs arbres pour éviter d'en perdre la récolte.

Même combat pour Marie d'Ottavio, doctorante au laboratoire de lutte biologique de l'UQAM, qui tente de trouver une solution contre le charançon de la silique détruisant les cultures de canola.

« Au Québec, on a estimé que ce charançon est présent dans plus de 80 % des champs de canola, c'est un vrai problème ! »

Or, de nos jours, l'augmentation de la population humaine mondiale entraîne une constante hausse de la demande en nourriture. Parallèlement, les ravageurs deviennent omniprésents à cause des échanges internationaux qui leur permettent d'immigrer vers d'autres pays. Les producteurs doivent donc trouver des solutions pour cultiver à grande

échelle, tout en réduisant les pertes occasionnées par la présence grandissante de ravageurs. Bien qu'ils soient de plus en plus controversés, les pesticides se sont présentés pendant des années comme LA solution par excellence pour contrer la présence d'insectes dans les cultures.

Quels impacts ont ces pesticides ?

...mais des pesticides dans son assiette, ce n'est pas non plus très chouette

Un pesticide est une substance utilisée pour traiter différents nuisibles en agriculture, comme les mauvaises herbes qui sont éliminées par les herbicides ou les insectes ravageurs par les insecticides. Dans les années 1930, les insecticides chimiques ont été très bien accueillis, avant que des impacts néfastes sur l'environnement et la santé publique ne soient avérés et deviennent une inquiétude générale. De nos jours, les principaux insecticides utilisés en agriculture au Québec contiennent des substances actives telles que les néonicotinoïdes. Plus de 145 produits à base de néonicotinoïdes sont autorisés au Canada. En Europe, depuis 2018, ils ont été interdits en agriculture à cause de leur dangerosité, notamment pour les pollinisateurs, les oiseaux et les mammifères. Au Québec, l'utilisation de néonicotinoïdes est toujours d'actualité et fait controverse. Presque toutes les semences de maïs et de soja en sont enrobées, et certains grains sont également traités après la récolte, comme le blé.

Les néonicotinoïdes, comment ça fonctionne ? Mode d'action et impacts sur les écosystèmes et la santé

Les néonicotinoïdes viennent dérégler les réponses du système nerveux. La grande majorité des animaux, incluant l'humain, sont dotés d'un système nerveux. Il permet le mouvement, qu'il soit intentionnel, comme lever la main, ou non, comme les battements de cœur. Ce réseau communique par l'intermédiaire de plusieurs petites molécules, comme l'acétylcholine, qu'on appelle neurotransmetteurs. Les néonicotinoïdes perturbent le réseau en se fixant sur les récepteurs de l'acétylcholine, entraînant une modification des réponses nerveuses. Par exemple, chez certains insectes, ils mènent à la paralysie et la mort.

Les néonicotinoïdes sont utilisés en enrobage de semence. Cependant, en moyenne, seulement 10 % du produit est absorbé par la plante, alors que le reste résiderait dans les sols et les cours d'eau affectant ainsi une grande partie du vivant qui s'y trouve. Chez les pollinisateurs, les néonicotinoïdes agissent sur l'apprentissage, la reproduction et l'orientation, au point où parfois les abeilles ne sont plus capables de retourner à la ruche. Le déclin des populations de pollinisateurs met en péril non seulement nos écosystèmes, mais pourrait également menacer notre sécurité alimentaire. Et ce n'est pas tout ! Chez les humains, les néonicotinoïdes pourraient augmenter l'apparition de troubles du spectre de l'autisme, de problèmes de développement du cerveau ainsi que des pertes de mémoire.

« On travaille dans des milieux qui nous polluent, parce qu'on pollue ! »

Laurent Dervaux, responsable de la production des serres agricoles de l'école de Roville-aux-Chênes en France.

C'est à ce moment que certains producteurs ont essayé de se tourner vers des méthodes de lutte plus saine.

L'ennemi de mon ennemi est mon ami : le grand principe de la lutte biologique

Il y a environ 12 ans, à l'école agricole Roville-aux-Chênes en France, une surabondance de petites mouches blanches appelées aleurodes a ravagé les plants de tomates et de concombres dans les serres. Malgré l'utilisation d'insecticides chimiques, Laurent Dervaux, formateur en productions horticoles, n'a constaté aucune diminution des ravageurs. Il a donc tenté d'introduire un insecte ennemi de l'aleurode, ce qui fut un succès. L'école a alors décidé d'adopter cette méthode, et depuis, elle n'utilise plus aucun pesticide. On appelle cela la lutte biologique.

Il existe plusieurs définitions de la lutte biologique, mais ici, nous allons la définir comme l'utilisation d'organismes vivants, dits ennemis naturels ou auxiliaires, afin de réduire ou de contrôler les populations d'autres organismes vivants considérés comme nuisibles ou ravageurs.

La lutte biologique comprend deux étapes principales : l'introduction de l'ennemi naturel et la manipulation de l'environnement. Avant d'introduire un ennemi pour un ravageur, il faut, grâce à la recherche, trouver son ennemi naturel spécifique, son habitat idéal, et les facteurs qui vont favoriser sa survie et sa croissance. Mais qu'est-ce qu'un ennemi naturel spécifique ? Lorsqu'un prédateur, un parasite ou un parasitoïde est spécifique, cela veut dire qu'il se spécialise à une seule proie. À l'inverse, on dit qu'il est généraliste quand il se nourrit d'un peu de tout. Le but est que l'ennemi du ravageur ne s'en prenne qu'à lui et pas à d'autres insectes, ni même à nous. Choisir un ennemi spécifique est donc essentiel ! Quant à la manipulation de l'environnement, elle consiste à favoriser son introduction et son installation dans le paysage. Cela peut se faire par la plantation de certains végétaux. Par exemple, dans les serres de Laurent Dervaux, l'arbre à tomates est une excellente plante qui favorise les cycles de reproduction des ennemis naturels. L'objectif de l'introduction de ces derniers est qu'ils prennent place dans le paysage et que le contrôle des ravageurs se fasse naturellement au fil du temps.

Un des exemples les plus connus de la lutte biologique est l'utilisation de larves de coccinelles afin de contrôler les populations de pucerons. Ces larves de coccinelles sont dites ennemis naturels de type prédateurs. D'autres ennemis naturels sont souvent utilisés, comme les parasitoïdes. En étant les ennemis des ravageurs, les parasitoïdes sont finalement nos amis !

Le Tamarillo, ou arbre à tomates, c'est gagnant-gagnant !

Le Tamarillo est une plante qui fait partie de la famille des tomates (*Solanacées*). Elle n'est pas très belle et ne sent pas bon, mais elle est très utile. Elle est dite « plante de relais » en lutte biologique. Une plante de relais héberge un ravageur et, par conséquent, l'éloigne des cultures tout en attirant son ennemi naturel. Parfois, certaines plantes de relais n'hébergent qu'un ou deux ravageurs et leurs auxiliaires, mais le Tamarillo, lui, les attire tous ! Est-ce la solution miracle ? Presque ! Son plus grand défaut est qu'il ne produit que très peu de graines viables et est donc difficile à produire.



Le saviez-vous ?

Lutte biologique ne veut pas nécessairement dire agriculture biologique ! L'agriculture biologique est une agriculture qui bannit les intrants chimiques, que ce soit sous forme d'engrais ou de pesticides. La lutte biologique, de son côté, fait référence à l'interaction entre des organismes biologiques, c'est-à-dire des organismes vivants. Elle a pour but de remplacer les pesticides, mais elle peut être utilisée autant pour l'agriculture biologique que traditionnelle.



Parfois les petites bibittes mangent les grosses

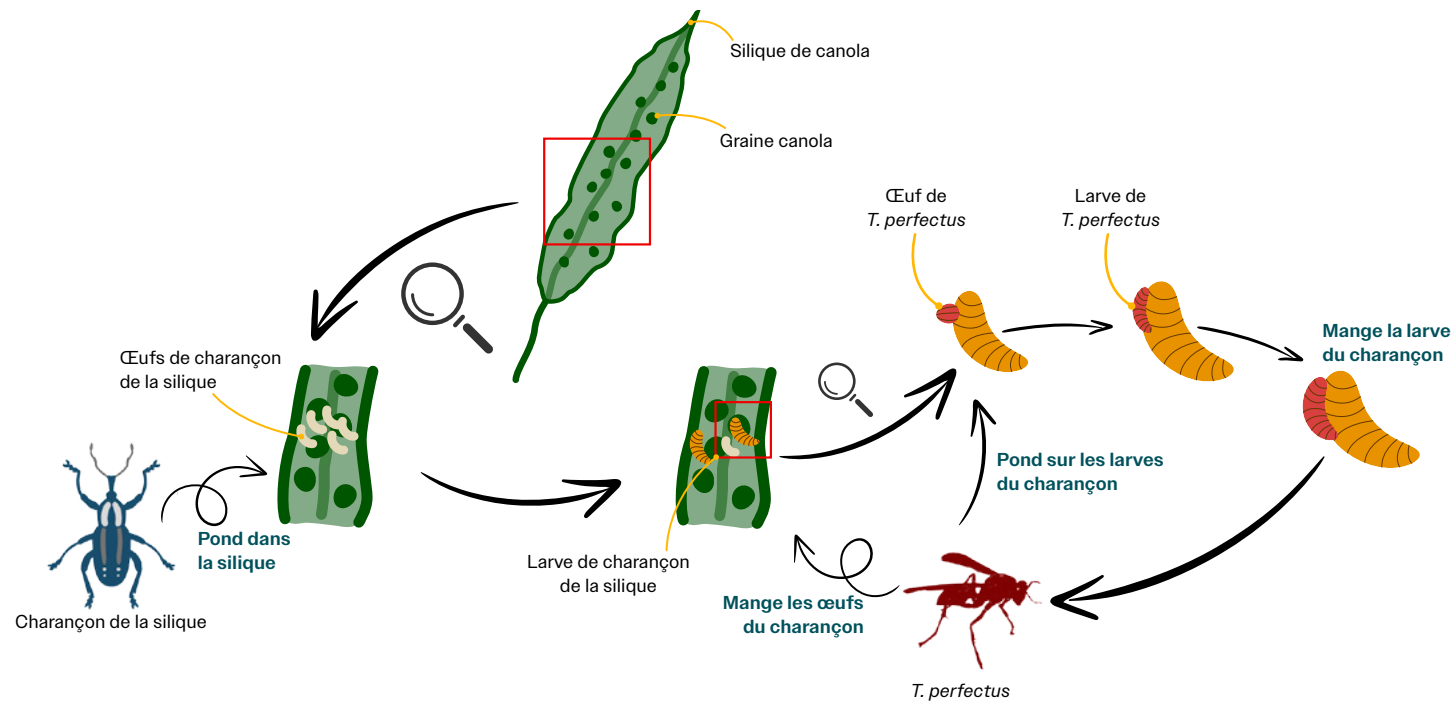
En lutte biologique, il est possible d'utiliser des parasitoïdes. Ils forment un sous-type de parasite. Ce sont des organismes qui vivent aux dépens des ressources d'un autre organisme pendant une partie ou la totalité de leur vie. Un parasite ne profite pas toujours de sa vie ! La particularité du parasitoïde est qu'il entraîne systématiquement la mort de son hôte, au contraire des parasites. C'est parfait pour lutter contre les ravageurs. De manière générale, lorsqu'on entend le mot parasite, ou parasitoïde, on ne pense pas tout de suite à un organisme bénéfique et collaborateur. Mais soyez rassurés, seule une partie infime de ceux-ci peuvent infecter les humains, et ceux utilisés en lutte biologique ne se retrouvent pas réellement dans votre assiette.

En effet, les parasitoïdes sont caractérisés par une chose essentielle : leur spécificité, c'est-à-dire le type d'organisme qu'ils sont capables de parasiter. Ainsi il existe pour chaque organisme au moins un parasitoïde qui lui est propre, et c'est là que ça devient intéressant.

Infiltration de parasitoïde au service de l'humain

Vous l'aurez compris, si on parvient à identifier un parasitoïde spécifique d'un ravageur, alors il nous « suffirait » de l'introduire dans nos cultures menacées par ce ravageur pour s'en débarrasser. Dans ces cas-ci, les parasitoïdes sont un peu comparables à des soldats envoyés au front. Mais comme dans toutes batailles, il faut bien étudier le plan d'attaque et le terrain pour avoir des résultats positifs. Concrètement, comment ça fonctionne ? Prenons l'exemple cité plus haut : le parasitoïde *Trichomalus perfectus* (*T. perfectus*) et le charançon de la silique.

Comme déjà évoqué, le charançon de la silique est un ravageur qui menace les cultures de canola en pondant des œufs dans les gousses (siliques) de la plante, laissant place à des larves qui mangent les graines. En moyenne, les larves provoquent 20 à 30 % de dommages sur les siliques. De plus, même les adultes causent des dégâts, car ils peuvent se nourrir des bourgeons, des siliques ou encore des fleurs de canola. Le Canada étant le premier producteur de canola du monde, les chercheurs canadiens se sont penchés sur la problématique pour essayer de trouver des solutions.



Trichomalus perfectus femelle (gauche) et mâle (droite)



Charançon de la silique (*Ceutorhynchus obstrictus*)

Les parasitoïdes, les héros bio de notre alimentation : utopie ou réalité ?

Comme le dit Éric Lucas, chercheur et directeur du laboratoire de lutte biologique à l'UQAM, « la meilleure façon de contrôler les insectes c'est par les insectes ». Toutefois, certains aspects méconnus sont à prendre en compte. D'abord, les imprévus météorologiques seraient une des principales causes d'échec dans l'utilisation de parasitoïdes en lutte biologique, causant leur mort avant même qu'ils ne puissent tuer les ravageurs. Ensuite, l'investissement dans la recherche pour trouver un parasitoïde spécifique à chaque ravageur est coûteux, mais essentiel, car la spécificité conserve l'équilibre de l'environnement. Il faut aussi considérer les problèmes de pollution génétique. Enfin, la fragilité de ces ennemis naturels élevés en laboratoire complique le transport vers les lieux où ils doivent être relâchés. D'ailleurs, une fois relâchés, il faut attendre plusieurs semaines avant d'observer les résultats attendus.

Comme nous l'expliquent Laurent Dervaux et Éric Lucas, la lutte biologique peut sembler plus coûteuse lors des premières étapes, mais à long terme, elle se trouve être plus avantageuse financièrement. Cependant, bien que la recherche en lutte biologique avance, la plupart des agriculteurs et agricultrices ne peuvent se permettre une transition sans aide financière. C'est pour cette raison que, lors d'un débat à l'Assemblée nationale du Québec en 2019, les agriculteurs et agricultrices réclamaient au Gouvernement plus d'aide pour encourager la transition vers la lutte biologique :

Qui est *Trichomalus perfectus* ?

Trichomalus perfectus, ce n'est pas un juron, c'est le nom d'une très petite guêpe, arrivée en 2009 au Québec, dont la particularité est d'être un parasitoïde infectant un insecte ravageur important : le charançon de la silique. Il opère en mangeant les larves du charançon afin d'avoir des protéines pour ses propres œufs qu'il pondra sur d'autres larves. Après l'éclosion, les larves de *T. perfectus* mangeront leur hôte !

Marie d'Ottavio a consacré son doctorat à l'étude de l'utilisation d'un parasitoïde du charançon de la silique pour contrôler ce ravageur. *T. perfectus* serait le parasitoïde le plus efficace pour contrôler le charançon de la silique. Pourquoi ? Car il est très spécifique à cette espèce. C'est un excellent point ! Notamment, car d'autres charançons peuvent contrôler les mauvaises herbes en agriculture et nous ne voulons pas les éliminer.

Alors, c'est bon ? Nous pouvons introduire ces parasitoïdes dans les cultures de canola ? Et bien, ce n'est pas si simple... Comme il en a été question plus tôt, il faut bien préparer la bataille avant d'y foncer tête baissée. Marie d'Ottavio a dû analyser plusieurs éléments dans ses recherches. Elle a par exemple étudié la résistance au froid de nos deux antagonistes. En effet, l'hiver venu, tous deux se mettent en hibernation. Seulement, si *T. perfectus* est moins résistant au froid, il n'hibernerait pas au même endroit que le charançon. Ainsi, une fois l'hibernation terminée, le charançon ne sera plus régulé par *T. perfectus* et pourra ravager les champs de canola comme bon lui semble. Heureusement, ses recherches ont prouvé que *T. perfectus* était plus résistant au froid que le charançon !

Marie d'Ottavio a aussi étudié un aspect que nous n'avons pas discuté jusqu'ici : l'élevage de parasitoïdes en laboratoire. Si nous voulons en introduire de manière efficace sur des parcelles agricoles, alors il nous en faut une quantité conséquente. C'est pourquoi une partie de ses recherches concerne les conditions (température, taux d'humidité, nourriture, etc.) adéquates à la survie de *T. perfectus* en laboratoire.

Enfin, ses études ont révélé la nécessité de l'aménagement du paysage des cultures en fonction des préférences de notre parasitoïde pour attirer ou maintenir la présence de *T. perfectus* sur les champs de canola.

Grâce aux recherches menées par Marie d'Ottavio, l'utilisation de *Trichomalus perfectus* pour le contrôle des charançons de la silique devient un moyen de remplacer les pesticides.

Le petit hic, la pollution génétique,

L'élevage de parasitoïdes en laboratoire débute avec quelques individus qui se reproduisent entre eux afin d'obtenir un élevage de masse, ce qui crée deux problèmes au niveau génétique. D'abord, les premiers individus se reproduisent et créent une grande population qui se ressemble génétiquement. Un peu comme si les quelques individus de bases étaient clonés infiniment. Ensuite, ce sont ceux s'adaptant le mieux à leur environnement de laboratoire qui continueront de se reproduire. Ces insectes d'élevage sont plus homogènes génétiquement que ceux retrouvés dans la nature. La pollution génétique a lieu lorsque ceux génétiquement homogènes se reproduisent avec les populations naturelles dans l'environnement. Ce mélange de gènes risque de créer des progénitures moins bien adaptées à l'environnement extérieur, avec de moins bonnes chances de survie, et par conséquent peut entraîner une baisse de la taille des populations dans le milieu naturel.

« Mais quand vient le temps de mettre des choses en priorité, le premier frein c'est le financement. Sinon, c'est nous, en tant que producteurs, qui avons à le financer à 100 % [...] On a une ferme à rentabiliser. Ça aussi, il ne faut pas l'oublier »

Finalement, la recette gagnante pour une lutte biologique à grande échelle est la recherche permettant de trouver l'ennemi naturel spécifique et la manipulation de l'environnement favorisant son établissement. Une lutte biologique réussie est un équilibre rétabli. Plus on détruit l'environnement avec les produits chimiques, plus on perturbe l'équilibre, et plus on doit en appliquer. « Les pesticides appellent les pesticides », comme dit Éric Lucas. Mais chaque recette gagnante a son ingrédient secret. Ici, l'aide financière pour les agriculteurs et agricultrices, et pour les chercheurs, chercheurs, est primordiale pour cesser l'application de pesticides.

Par Enora Coignet,
Nève Djevalikian-Couture
et Marilou Lalumière

Courant *d'injustice ?* L'impact des projets hydroélec- triques au Québec



Barrage Daniel-Johnson et la centrale hydroélectrique Manic-5.

Depuis plus d'un siècle, les innovations scientifiques dans le domaine de l'hydroélectricité ont poussé le Québec aux premiers rangs mondiaux de l'utilisation durable des ressources naturelles. Cependant, il est indéniable que cette pratique a sculpté bien plus que notre économie, puisqu'elle façonne également nos paysages et l'état de nos communautés. La construction de complexes hydroélectriques implique plusieurs enjeux tels que l'altération de milieux naturels, l'émission de gaz à effet de serre (GES) et la libération de mercure sous forme toxique. Nécessitant d'être situés aux sites d'importantes rivières, leurs retombées affectent particulièrement les populations autochtones du territoire. À l'aube de nouveaux développements énergétiques, on se demande donc : l'hydroélectricité telle qu'on la connaît aujourd'hui est-elle réellement une option idéale ?

Portraits de nos experts

Yves Prairie

Professeur à l'UQAM, titulaire de la Chaire UNESCO en changements environnementaux à l'échelle du globe et président de la Société internationale de limnologie, ses domaines d'expertise comptent l'écologie aquatique et les émissions de gaz à effet de serre. Ses récentes recherches se penchent sur les émissions issues de réservoirs.

Lynn Saint-Laurent

Conseillère principale des communications chez Hydro-Québec, elle est chargée de communiquer sur des questions de développement durable, de relations avec les communautés autochtones, et d'impacts environnementaux. Dans la dernière année elle s'est concentrée sur un projet de certification internationale de développement durable pour l'industrie de l'hydroélectricité.

Donna Mergler

Neurophysiologiste et professeure émérite à l'UQAM depuis 2008, elle se spécialise en une approche écosystémique de la santé et de la toxicologie du mercure. Avec les membres de son équipe, elle vient d'être désignée scientifique de l'année (2023) par Radio-Canada pour ses travaux dans la communauté de Grassy Narrows.

Justine Grandmont

Enseignant aujourd'hui au cégep du Vieux Montréal, elle a complété sa maîtrise en sociologie à l'UQAM. Son mémoire intitulé *L'innocence québécoise : La pièce J'aime Hydro et l'invisibilisation de la dimension coloniale du développement hydroélectrique au Québec* se penche sur la notion d'extractivisme colonial et des retombées de la nationalisation de l'électricité au Québec.

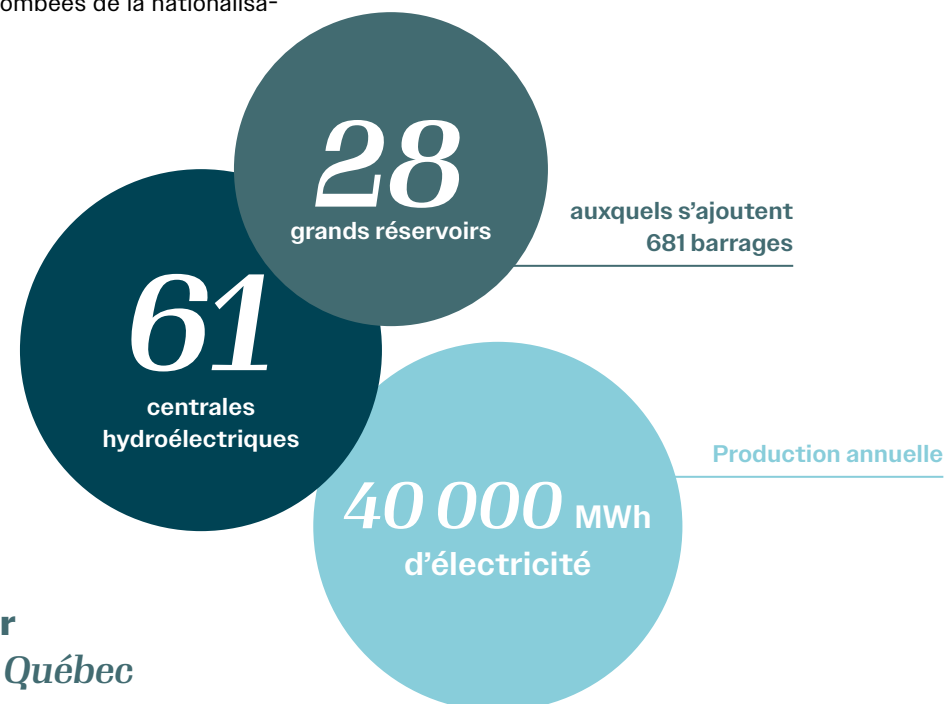
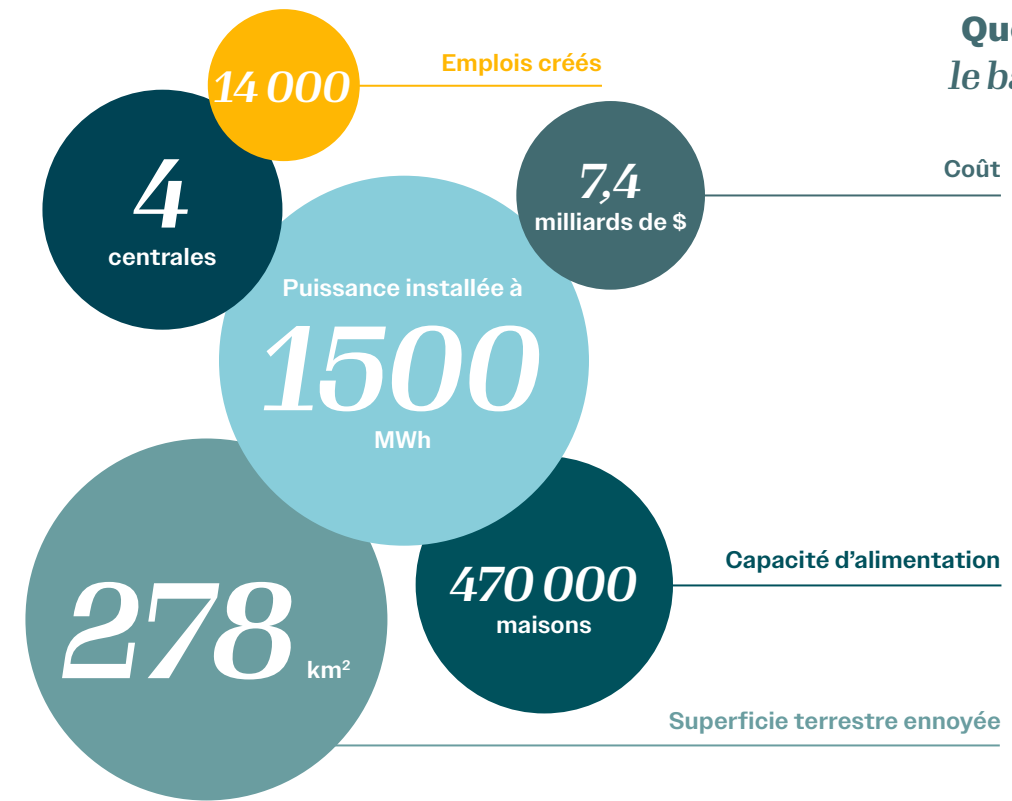
Mise en contexte

Avec les ambitions du premier ministre François Legault, déterminé à profiter de la transition énergétique actuelle pour faire de la province la batterie énergétique du nord-est de l'Amérique, on peut s'attendre au développement de nouvelles infrastructures d'exploitation. De plus, Hydro-Québec a déposé un plan d'action dans l'optique d'une économie québécoise carboneutre d'ici 2050.

M. Legault appuie le Plan stratégique 2022-2026 de la société d'État afin d'augmenter la production d'électricité d'au moins 100 TWh, ce qui reviendrait à construire 19 fois le complexe de la Romaine selon Fanny Lévesque, journaliste à *La Presse*.

Dans une vision de carboneutralité, il peut être facile d'oublier certains impacts de tels projets d'envergure. En effet, l'ampleur de la dégradation du territoire causée par les inondations, les puits de mercure et les émissions de GES peuvent être problématiques. De plus, les impacts sociaux causés par de telles infrastructures sont compromettants pour les populations autochtones, qui voient leur territoire mis au profit d'une société colonialiste, réduisant ainsi leur pratique d'activités traditionnelles comme la chasse et la pêche. Depuis quelques années, les sociétés d'État comme Hydro-Québec se montrent, toutefois de plus en plus à l'écoute des peuples concernés.

Quelques chiffres sur le barrage La Romaine



Quelques chiffres sur l'hydroélectricité au Québec selon le GIEC

(Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat)

Le revers de la médaille

L'hydroélectricité offre un rendement impressionnant et un faible taux de pollution en comparaison avec d'autres sources énergétiques. Cependant, la construction de barrages et de réservoirs met en péril l'environnement de plusieurs façons. En effet, le paysage est fragmenté, des habitats sont modifiés et l'inondation de territoires y cause des impacts physiques et chimiques. Il faut aussi détruire beaucoup de milieux naturels pour acheminer la machinerie et les matériaux.

En entrevue, Justine Grandmont explique que l'extractivisme est un mode d'exploitation qui découle directement de l'histoire coloniale à l'échelle internationale. C'est une méthode de production dans laquelle la nature se voit uniquement reconnaître de la valeur lorsqu'elle est exploitée, et qui a tendance à exacerber des problèmes sociaux. À cette problématique, s'ajoutent souvent des questions de racisme et de colonialisme.

L'intégrité du cours d'eau

D'un point de vue écologique, Yves Prairie met en lumière des effets environnementaux en affirmant que les complexes hydroélectriques perturbent les écosystèmes aquatiques en modifiant le débit naturel des cours d'eau. On cause une diminution de la vitesse de l'eau en amont du barrage, ce qui favorisera l'accumulation de sédiments, normalement transportés par le courant, perturbant ainsi l'écosystème et les processus naturels de l'érosion et de la sédimentation.

De plus, les barrages possèdent des vannes qui permettent de libérer les sédiments accumulés à intervalles réguliers. Ces déversements contrôlés peuvent perturber les conditions hydrologiques en aval des barrages (comme la qualité de l'eau, la stabilité des berges, etc.). Enfin, ces barrages constituent une barrière pour les poissons migrateurs qui dépendent des cours d'eau pour se reproduire, se nourrir ou établir de nouveaux habitats. En effet, Yao Kouassi Anderson et ses collègues ont démontré, dans une étude, que l'établissement d'un habitat et l'accès à la nourriture d'un poisson sont des processus fortement influencés par le niveau et le débit ainsi que par la composition physico-chimique d'un cours d'eau.

Ces infrastructures constituent des obstacles à la dispersion et peuvent contribuer à une perte de diversité des espèces aquatiques. Une étude sur l'impact des réservoirs en région boréale menée par l'Institut des Sciences de la Forêt tempérée de l'UQO indique toutefois qu'ils ont seulement un très faible impact sur la richesse spécifique, soit sur le nombre d'espèces présentes. En revanche, on y observe une variation de l'abondance relative, soit du nombre d'individus par espèce. Il manque néanmoins d'études qui prendraient en compte les effets cumulatifs de tels aménagements aquatiques en territoire québécois.

Les écosystèmes aquatiques et terrestres sont-ils liés ?

Dans le même ordre d'idées, la construction de barrages, l'inondation de forêts et le montage de lignes de transport d'électricité causent la fragmentation d'habitats. Stéphane Ringuet et ses collègues ont démontré une baisse de diversité et d'abondance de populations de vertébrés terrestres (lézards, oiseaux, chauves-souris et micromammifères) pendant et après la construction d'un complexe hydroélectrique en Guyane française. Ces impacts peuvent s'observer sur des échelles de temps variables. Certaines espèces jouant un rôle clé dans les cycles forestiers ont besoin de vastes espaces inaltérés. De telles modifications démographiques déséquilibrent donc la chaîne trophique et mettent en péril de nombreuses espèces. Au Québec, plusieurs espèces telles que les cervidés, certains oiseaux et plantes font déjà l'objet d'études sur l'adaptation à la fragmentation et la destruction du territoire.

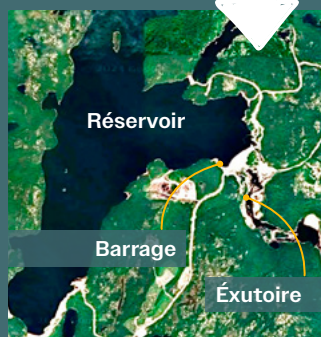
Hydro-Québec affirme suivre de près l'incidence des projets sur la qualité de la biodiversité, et qu'une stratégie de protection est intégrée à leurs actions pour la mettre en valeur. Des projets ont été mis en place afin de maintenir la connectivité des forêts pour favoriser, entre autres, le caribou forestier, et afin de permettre à l'anguille de faire sa migration par des passes qui font l'objet de suivis. Hydro-Québec participe également à des aménagements paysagers pour la conservation d'habitats.

Impacts du barrage hydroélectrique de La Romaine



Avant

Rivière La Romaine située en amont des barrages (état naturel)



Après

Barrage La Romaine 4 situé sur la rivière La Romaine (état perturbé)

Comme le démontre cette figure, on peut voir l'impact des barrages sur la transformation du territoire.

Une production sans émission ?

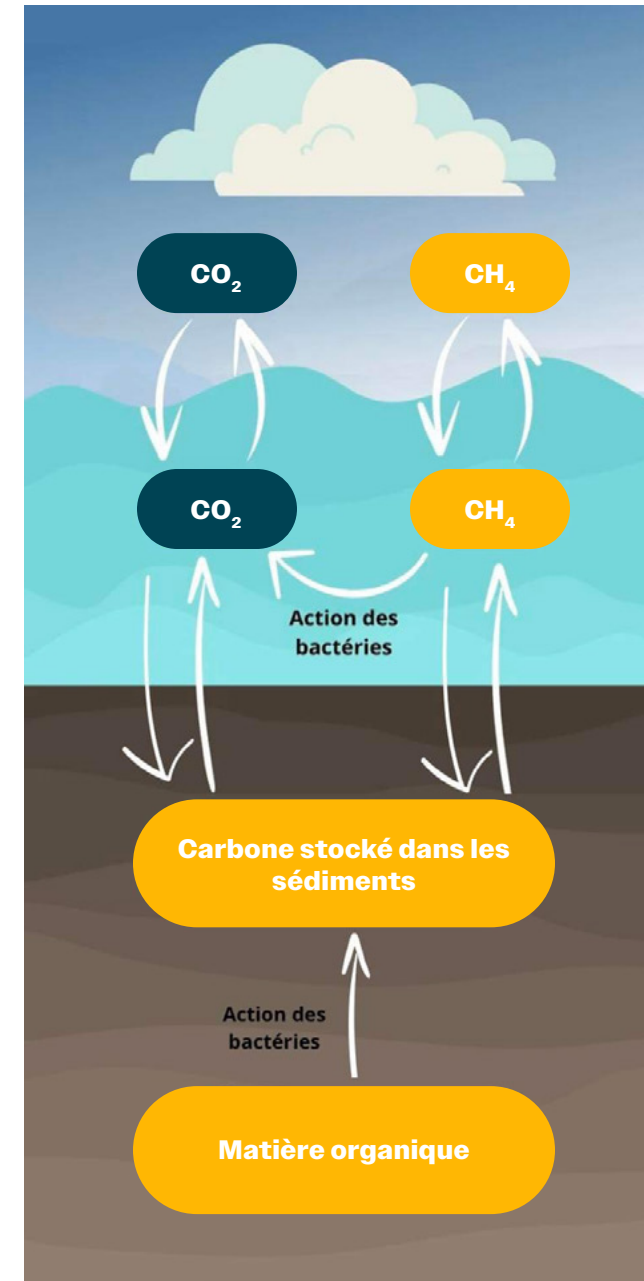
La production d'hydroélectricité, en soi, ne produit pas de GES. Cependant, dès la création d'un réservoir, et 20 ans durant, le bassin créé en dégage abondamment. En plus de la déforestation nécessaire à sa construction, l'inondation de plusieurs km² de forêts submerge de la matière végétale qui sera décomposée. L'oxygène présent dans l'eau est vite épuisé par les organismes aérobies, ce qui laisse place aux organismes anaérobies qui dégagent du méthane (CH₄) au lieu du dioxyde de carbone (CO₂) lors de la respiration cellulaire. Cette masse de matière organique amène donc une grande quantité de méthane dissous dans l'eau. Yves Prairie souligne que ce méthane reste principalement dans les couches profondes du réservoir, puisque son transport est régi par la température de l'eau, plus froide en profondeur. Le chercheur avance également que certaines bactéries consomment le méthane et excrètent du CO₂ qui sera transporté vers l'atmosphère et contribuera, lui aussi, à l'effet de serre. Un plan d'eau rejette naturellement du CO₂ dans l'atmosphère. Par contre, les études d'impacts des réservoirs prennent seulement en compte les émissions d'un plan d'eau lorsqu'elles sont supérieures au seuil normal.

Afin de pallier certaines émissions de GES, Hydro-Québec s'assure de mettre en place des aménagements végétaux afin de capter du carbone en plus d'être favorables à la biodiversité.

« Si on calcule les GES globalement, émis par tous les types de barrages ensemble, c'est à peu près équivalent à tout le secteur de l'aviation planétaire. Donc, c'est plutôt important, car cela représente environ 2 % de toutes les émissions humaines. »,

Yves Prairie

Le méthane accumulé dans les sédiments sera libéré dans l'atmosphère lors de l'ouverture des vannes du barrage. (À noter qu'une tonne de CH₄ a un pouvoir de réchauffement 28 fois plus élevé qu'une tonne de CO₂ selon le GIEC.)



Le méthane stocké dans les sédiments va être libéré sous forme de CO₂ et de CH₄ dans l'atmosphère, dû à l'action de bactéries.

Et le mercure dans tout ça ?

Depuis les années 70, le mercure fait l'objet de plus en plus de contrôles en raison de sa forte toxicité et de sa bioamplification le long de la chaîne alimentaire. Ce composé toxique affecte particulièrement les peuples riverains à travers la consommation de poisson. Après la mise en eau du projet de La Romaine, une étude à long terme sur les populations de la région avait révélé une augmentation du taux de mercure provenant de leur alimentation.

Pour comprendre les effets du mercure, selon Donna Mergler, il est important de garder en tête qu'il s'agit d'un continuum. Selon la dose, soit la concentration et la fréquence d'exposition, les effets vont varier. Plus on est exposé, plus les effets vont être marqués.

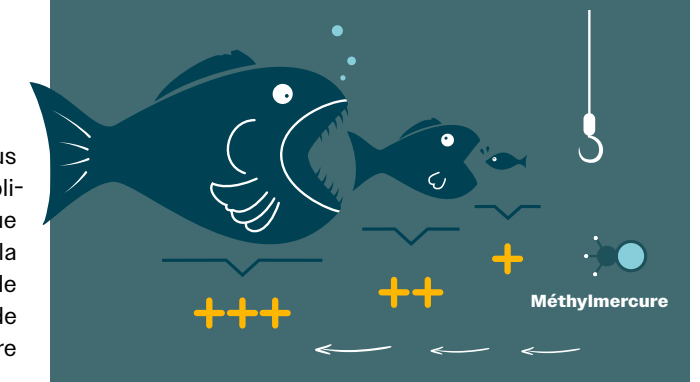
Par exemple, on a observé que les troubles d'apprentissage avaient presque quadruplé chez des enfants inuits exposés au mercure. C'est une problématique qui se traduit au niveau communautaire, car l'impact du mercure n'affecte pas seulement quelques individus. C'est plutôt le fonctionnement de l'entière de la communauté qui est bouleversé. De plus, il faut noter que l'exposition agit différemment selon le stade de développement lors duquel un individu est intoxiqué. Chez le fœtus en développement, le mercure peut avoir beaucoup plus d'effets à plus long terme. Quand les femmes enceintes mangent du poisson contaminé, le méthylmercure est activement transporté à travers le placenta. On mesure une concentration 1,7 à 2 fois plus élevée dans le cordon ombilical que dans le sang de la mère. Il est possible qu'à la suite d'une exposition prénatale ou de longue durée, on n'observe pas d'effet immédiat, mais avec un délai.

« Manger plus de poissons qui mangent moins de poissons. »

Donna Mergler

Le mercure

Dans la nature, le mercure est souvent lié à de la matière organique, comme dans les végétaux et le sol, où il se trouve sous forme stable. Lors de la construction de réservoirs, l'inondation crée le remet en circulation, et des microorganismes le convertissent en méthylmercure, soit sa forme la plus toxique. Sa forte présence dans l'environnement est bioaccumulée et bioamplifiée le long de la chaîne alimentaire. Comme illustré ci-dessous, les concentrations de mercure dans les organismes sont amplifiées à chaque niveau trophique de la chaîne alimentaire.



Quels sont les effets ?

Les premiers effets de l'installation du mercure dans le cerveau comptent la perte de sensibilité, les problèmes de fonctions motrices ainsi que de cognition. Cela cause également la constriction du champ visuel.

Évidemment, tous ces symptômes peuvent s'aggraver dans le cas d'une exposition continue. Une très forte intoxication au mercure cause la maladie de Minamata, une affection neurologique particulièrement débilante. Présentement, des études sont en train de montrer que les effets du mercure sont bien plus que neurotoxiques. Il y a de plus en plus de recherches qui pointent vers le mercure comme contributeur au diabète et aux maladies du foie. Quoiqu'on n'observe généralement pas ces conséquences à un niveau si élevé au Québec, il faut rester vigilants face à la gravité du problème. Même l'exposition à de faibles concentrations peut éventuellement causer l'apparition de symptômes puisqu'il s'agit d'un processus progressif.

Qu'est-ce qu'on doit faire ?

Selon Donna Mergler, le plus important est que les systèmes de santé et d'éducation soient informés afin de faire de la prévention sur le développement de maladies. Il s'agit simplement de ne pas laisser pour compte les communautés vulnérables.

Dans ses recherches passées, Donna Mergler avait démontré l'effet de l'exposition au mercure sur le taux de suicide chez les jeunes.

Selon elle, si les professionnels se posaient plus de questions sur les tendances observées chez les communautés touchées, ils seraient plus en mesure d'appliquer des protocoles mieux adaptés à leurs besoins.

Les peuples autochtones sont conscients de leur condition, et ce, depuis longtemps déjà. On peut donc se poser la question à savoir s'il s'agit réellement d'un manque d'information ou d'un manque d'écoute. Plusieurs communautés attendent encore l'aide demandée depuis des décennies. De telles situations sont des démonstrations de racisme environnemental. Donna Mergler soutient qu'il faut miser sur un partenariat basé sur le respect des connaissances approfondies des communautés touchées.

« Nous, on écoute et on apprend quels sont les problèmes. Ensuite, on produit l'évidence scientifique et on affiche les chiffres qui permettent de les prouver. »

Donna Mergler

Le racisme environnemental, qu'est-ce que c'est ?

Le racisme environnemental englobe l'ensemble des pratiques qui exposent les communautés racisées de manière disproportionnée aux conséquences dues à des activités dangereuses sur le plan environnemental. Dans ce cas, cela comprend l'exclusion et le manque de pouvoir politique accordé aux populations vulnérables.

Exemple : Le barrage de la centrale hydroélectrique du site C en Colombie-Britannique, dont l'ouverture est prévue en 2025, inondera 55 km² de terres. Ceci aura une incidence négative sur les communautés natives qui déplorent n'avoir jamais consenti à sa construction.

Donna Mergler souligne également qu'il n'est pas réaliste de demander à une population de changer la base de la culture de son alimentation, étant centralisée autour de la pêche.

Selon elle, il faut se rappeler que ce n'est pas le poisson à la base qui est empoisonné, mais bien le lac dans lequel on le pêche. Les lacs au Québec présentent différents taux de mercure. C'est pour cela qu'il faudrait donner accès à la pratique de la pêche dans les moins contaminés. Elle explique que l'idée d'aménager de nouveaux sites de pêches peut être bonne d'un point de vue strictement toxicologique, mais il reste à voir si ce sont des promesses réalisables. Hydro-Québec souligne les suivis effectués lors de projets et leurs efforts tels que la publication de guides de consommation de poisson.

Des perspectives divergentes d'un point de vue social

En parlant de la dimension coloniale du développement hydroélectrique au Québec, Justine Grandmont explique comment le discours québécois a construit un narratif où la violence coloniale reliée à l'essor de l'hydroélectricité a été complètement effacée.

« Aujourd'hui à l'école, on ne nous apprend pas qu'en 1975, les Cris ont dû céder leur territoire à Hydro-Québec. »

Justine Grandmont

On n'accorde pas assez d'importance aux populations indigènes lors du développement d'infrastructures sur leurs territoires.



Barrage Mercier du Réservoir Baskatong.

À ce sujet, Lynn St-Laurent a déclaré qu'Hydro-Québec valorise l'inclusion des membres des communautés autochtones dans l'industrie et les considère comme des leviers du développement économique, respectant des principes de durabilité en privilégiant un dialogue précoce. Parmi leurs efforts, Hydro-Québec a obtenu la certification RPA Argent du Conseil canadien pour l'entreprise autochtone en 2021, qui reconnaît les progrès réalisés face à leurs relations et à l'inclusivité dans la main-d'œuvre. L'entreprise fait également un effort pour relocaliser les ressources précieuses aux peuples touchés. Cela avait été fait lors de la construction de la Romaine, où les plantes médicinales innues avaient été déplacées afin de garantir leur accès.

Justine Grandmont affirme qu'il y a importance à prendre en compte les impacts sociaux de telles problématiques en sciences naturelles, surtout au niveau de leur communication au grand public. Selon elle, les enjeux environnementaux et sociaux sont presque toujours interreliés. En effet, elle admet que l'hydroélectricité est la méthode la plus propre d'un point de vue environnemental, mais que le poids des coûts sociaux qui y sont associés ne permet pas toujours de justifier de tels projets.

« Dans un cadre d'éducation populaire en science, il est important d'apporter une perspective complète et complexe de l'enjeu en question. »

Justine Grandmont

Face à une même question, Justine Grandmont et Lynn Saint-Laurent avaient des réponses bien différentes. Selon la sociologue, il est faux d'affirmer que l'ensemble de la population bénéficie d'un accès équitable aux avantages socio-économiques découlant de la nationalisation de l'électricité. Même en effaçant la dimension coloniale, il y a, à son sens, des inégalités éthiques qui remontent à la base de la création d'Hydro-Québec. Elle souligne que certaines populations ont dû attendre des années avant d'être enfin branchées au réseau qui avait été construit sur leurs terres. La représentante d'Hydro-Québec maintient pourtant l'idée que le cœur même de l'entreprise repose sur des principes d'accès équitable puisqu'à la base, Hydro-Québec a été fondée pour électrifier les ménages de toutes les classes sociales.

Un futur rempli d'espoir

Dans les discussions avec les experts, tous sont optimistes quant à la possibilité de poursuivre la production d'hydroélectricité de manière durable. Ils soulèvent cependant des idées différentes concernant la façon dont cela devrait être effectué. Yves Prairie avance qu'on pourrait observer un réel changement si les émissions de GES étaient taxées et si les différentes technologies d'énergie renouvelable étaient utilisées en alternance. De son côté, Lynn Saint-Laurent soutient qu'Hydro-Québec fait tout en son pouvoir pour diminuer les impacts, quels qu'ils soient, et rappelle l'engagement de la compagnie à sélectionner des projets conformes aux critères du développement durable, favorisant ainsi une production d'électricité verte, socialement acceptable et abordable. D'un point de vue plus sociétal, Justine Grandmont et Donna Mergler partagent l'avis qu'une production durable sur tous les plans ne sera envisageable que lorsque le pouvoir se retrouvera entre les mains des populations qui en sont les premières touchées. Pour conclure, on peut se rappeler la nécessité d'un effort futur dans le domaine, tout en reconnaissant les actions faites par chacun des acteurs pour permettre une production d'électricité durable et basée sur la coopération.

« La meilleure science se produit lorsqu'on est en symbiose avec son objet d'étude. »

Donna Mergler

Par Maïa-Jack Blair,
Fannie Bolduc,
Melisande Chicoine
et Thomas Chanel

Un repas *plastifié* pour des insectes *affamés*



Un sujet récurrent de nos jours, l'accumulation de plastique dans nos océans et nos espaces verts, ne semble jamais bien loin de nos préoccupations. Entre les sites d'enfouissement qui débordent et les sites d'incinérations qui salissent les poumons, on ne s'en sort plus. Avec tous ces problèmes qui s'accumulent depuis des années, il est temps de trouver une solution moderne, avec des alliés inattendus : les insectes ! En effet, certaines de ces petites machines biologiques ont réussi ce qui nous échappe encore : décomposer entièrement le plastique sans produire le moindre résidu. Mais encore faut-il parvenir à les contrôler, car la manipulation des espèces au profit des humains, surtout à l'échelle mondiale, est complexe et risquée.

Le plastique : un problème qui ne date pas d'hier

Depuis son invention en 1850, la production de plastique n'a cessé d'augmenter, atteignant aujourd'hui plus de 300 millions de tonnes par an, parmi lesquelles 8 millions se retrouvent dans l'océan. En 2020, il a été estimé que sur la totalité du plastique produit depuis 1850, seulement 9 % auraient été recyclés, dont 12 % auraient été brûlés. Les diverses images d'animaux marins enchevêtrés dans les sacs d'épicerie ou ayant des pailles prises dans leurs narines sont devenues des classiques des campagnes anti-plastiques, mais bien d'autres conséquences sont plus difficiles à illustrer.

Le recyclage au Québec

Au Québec, les centres de recyclage possèdent des capacités variées, certaines faisant du tri à la main et d'autres ayant accès à des technologies supérieures, comme des lecteurs optiques. Ceci peut amener des différences au niveau des capacités et de la qualité possible du triage. En général, les plastiques qui traversent les centres de tri sont divisés en trois catégories, selon leurs qualités. Le premier type de ballot, composé des meilleurs plastiques, les plus propres et les plus chimiquement malléables sont utilisés pour faire de la valorisation, c'est-à-dire qu'ils sont fondus et traités pour être revendus comme matière première et retourner dans la chaîne de production. Environ 8 % du plastique consommé au Québec peut suivre ce traitement. Le second type de ballot contient des matières ayant une structure chimique complexe, composé souvent de plastiques mélangés, comme du PVC, des résines plastiques et d'autres types de polyéthylènes. Cette complexité de structure peut rendre le processus de valorisation trop coûteux. Ces ballots peuvent être envoyés au site d'enfouissement, ou être vendus, par exemple, à des pays possédant les infrastructures nécessaires pour les traiter. Le troisième type de ballot est composé de tous les autres plastiques, ainsi que du reste de la matière non valorisée ayant traversé les centres de tri, qui peuvent être envoyés au centre d'enfouissement. Ils sont par contre, dans la plupart des cas, incinérés.



En 2020, il a été estimé que sur la totalité du plastique produit depuis 1850, seulement 9 % auraient été recyclés, dont 12 % auraient été brûlés.

Pas évident le recyclage !

Une entrevue avec Naïma Chraïbi, conseillère en environnement chez Recyc-Québec, a permis de mieux comprendre les réalités des centres de recyclage au Québec. Un premier problème avec le recyclage est le manque d'étiquettes claires sur les produits plastiques, créant ainsi une confusion sur la manière de recycler chaque produit. De plus, le mauvais triage des déchets par la population diminue drastiquement l'efficacité du recyclage des plastiques.



Une solution qui n'enfouit pas réellement le problème

À la suite du centre de recyclage, les déchets de plastique peuvent suivre plusieurs voies différentes, l'une d'entre elles étant les sites d'enfouissement. Ces derniers ont une capacité limitée, ce qui pose un sérieux risque de contamination, par exemple dans l'eau potable. Même si ces sites sont conçus pour contenir des déchets, plusieurs comportent des défauts structurels, des fissures dans les membranes ou des ruptures pouvant conduire à des fuites de lixiviat, soit le liquide produit par le passage de l'eau de pluie ou de fonte des neiges à travers les déchets éliminés. Les métaux lourds pouvant faire partie des déchets plastiques sont parmi les principaux contaminants présents dans le lixiviat. Ces substances peuvent perturber le développement des organismes aquatiques, compromettre la qualité de l'eau et entraîner des phénomènes néfastes dans la chaîne trophique, telle la bioamplification, soit le processus par lequel les taux de certaines substances croissent à chaque stade de la chaîne alimentaire (augmentant à partir du plus bas niveau vers le plus haut) présentant ainsi des risques pour la santé humaine lors de la consommation de produits aquatiques.

Partir en fumée, un spectacle qui s'en prend aux poumons

Une deuxième voie possible est l'incinération des déchets, comme les plastiques, qui comprend aussi des impacts néfastes sur l'environnement et la santé. Au niveau mondial, selon l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis, l'incinération des déchets municipaux est responsable de la libération de millions de tonnes de dioxyde de carbone chaque année. Outre les gaz à effet de serre, l'incinération produit des polluants atmosphériques tels que les dioxines, les furanes et les métaux lourds. Ces substances toxiques ont des effets néfastes sur la qualité de l'air et peuvent causer des problèmes respiratoires, en plus d'être des perturbateurs hormonaux. Les populations vivant à proximité des installations d'incinération sont particulièrement vulnérables à ces risques, car elles sont exposées à des polluants atmosphériques de manière chronique, pouvant ainsi mener à des problèmes de santé persistants.

Alors, quelles sont les options ?

D'après M^{me} Chraïbi, plusieurs bilans et projets de loi au Québec sont en train de se former, de se concrétiser et de se réaliser afin d'améliorer les stratégies utilisées pour le recyclage. Par exemple, un bilan en cours, le PMGMR 2024-2030, promeut l'amélioration des stratégies sur la gestion des plastiques, pour créer un système d'échange pour le réemploi des matières et mener une politique d'approvisionnement responsable vers 2027, afin de porter une plus grande importance sur l'économie circulaire. Le BNQ, le bureau de normalisation du Québec, entreprend aussi de nouvelles normes pour baisser le taux de pollution, par exemple, la norme CAN/BNQ 3840-100, qui vise que les nouveaux produits fabriqués au Canada soient au moins partiellement composés de matière plastique recyclée. Actuellement, le gouvernement fédéral entreprend un plan d'action visant à réduire la pollution plastique, notamment en obligeant les producteurs à donner une traçabilité sur la quantité et le type de plastique utilisé et mis en marché au Canada.

Plusieurs nouvelles idées se forment pour contrer les problèmes actuels de la pollution. Toutefois, une idée émergente ressort du lot... les insectes plastivores !

Qu'est-ce qu'un insecte plastivore ?

Un insecte plastivore est un insecte qui est capable de consommer et de digérer le plastique, le dégradant en composés plus simples et moins toxiques pour l'environnement. Ce type de biodégradation est très intéressant, car il comporte plusieurs avantages. Par exemple, c'est une méthode écologique pour contrer la pollution des déchets plastiques.



La biodégradation des plastiques : les types digérés

Comme il y a une panoplie de différents types de plastique, plusieurs types de digestion et dégradation sont possibles. Tout d'abord, il est important de connaître l'utilisation des plastiques qui ont le potentiel d'être digérés par ces insectes. Comme mentionné, il y a un grand nombre de types de plastiques utilisés dans le monde :

Types de plastiques communs	Description	Exemples
PE (polyéthylène)	Abondamment utilisé pour sa disponibilité, son faible coût, sa résistance chimique, son application facile en fabrication et sa résistance mécanique.	Ce plastique à plusieurs utilisations, notamment dans la fabrication d'emballages, de fibres synthétiques dans les vêtements, les bouteilles, implants médicaux, filets de pêche.
PU (polyuréthane)	Durable, il prend plusieurs formes (rigides ou flexibles). Très versatile.	Utilisé dans la construction (ex. : isolation), les électoménagers (ex. : frigidaires), les souliers, les matelas, les voitures, les adhésifs, remplacement du caoutchouc.
PP (polypropylène)	Découvert dans les années 1950, sa résistance à la corrosion chimique, son élasticité, sa durabilité et sa surface tactile le rendent aussi un choix commun dans la fabrication de produits.	Communément utilisé comme thermoplastique dans la fabrication d'emballages, de morceaux de machinerie, d'équipements médicaux, de meubles et même dans les textiles.
PS (polystyrène)	Un type de plastique qui a deux formes communes, l'une en forme de « mousse », l'autre en forme solide.	Forme solide : fabrication d'équipements médicaux, de récipients alimentaires (ex. : pots de yaourt), dans certains meubles. Forme non solide : souvent utilisé comme isolant en construction ou dans l'expédition de produits.
PVC (chlorure de polyvinyle)	Considéré comme le troisième type de plastique le plus utilisé, il ne coûte pas très cher, est léger, facilement transformable et durable.	Très utilisé en construction, notamment dans la plomberie et l'isolation électrique, en plus de multiples autres fonctions.

Du pareil au même

Les plastiques sont produits à l'aide de matériaux fossiles difficilement dégradables, constitués de longues chaînes de carbone, où sont ajoutés différents additifs, tels des retardateurs de flammes et des plastifiants, rendant le tout d'autant plus difficile à dégrader. Or, les insectes plastivores ne reculent devant rien. En effet, la diète des larves comporte souvent des substances aussi dures à digérer, telle la cire d'abeille, qui, elle aussi, a une structure riche en longues chaînes d'acides aminés, soit des structures moléculaires difficiles à dégrader.

Les différents insectes plastivores

Plusieurs insectes ont la capacité d'être plastivores, mais tous ne sont pas capables de digérer les mêmes types de plastique.

Exemples d'insectes capables de digérer du plastique

Insectes plastivores	Description	Plastiques digérés
 Ténébrion meunier (<i>Tenebrio molitor</i>)	La larve du coléoptère a la capacité de manger certains plastiques. Cosmopolite, il raffole des céréales et vit en général dans de vieux arbres ou sous l'écorce d'arbres morts.	PE - PS - PU PVC - PP
 Ténébrion noir (<i>Tenebrio obscurus</i>)	Similaire au ténébrion meunier, mais de couleur plus claire. Il est friand de céréales et d'insectes morts.	PS
 Ver de farine géant (<i>Zophobas atratus</i>)	Un coléoptère avec des larves similaires à celles du ténébrion meunier, mais de plus grosse taille. Consommateur omnivore qui est originaire de l'Amérique centrale et de l'Amérique du Sud, il est souvent utilisé comme nourriture pour les reptiles de compagnie.	PS - PVC - PE - PU PS (mousse)
 Tribolium rouge de la farine (<i>Tribolium castaneum</i>)	Ce petit coléoptère brun rougeâtre fait aussi partie de la famille des ténébrions. Friand des céréales lui aussi, en plus de légumineuses et de fruits, il se défend en sécrétant une odeur malodorante.	PS
 Fausse teigne de la cire (<i>Galleria mellonella</i> L)	Papillon de nuit qui parasite les ruches d'abeille et consomme de la cire de ruche durant sa forme larvaire. L'adulte vole de mai à octobre.	PE - PS - LDPE
 Petite teigne des ruches (<i>Achroia grisella</i>)	Similaire à la fausse teigne, mais de plus petite taille, elle a les mêmes capacités que celle-ci.	HDPE
 Pyrale indienne des fruits secs (<i>Plodia interpunctella</i>)	Ce petit papillon de nuit est originaire d'Amérique du Sud. Les chenilles produisent des fils de soie pour tisser leurs cocons et peuvent se retrouver dans la farine, les céréales et les pâtisseries.	PE
 Lasioderme du tabac (<i>Lasioderma serricorne</i>)	Coléoptère brun rougeâtre qui peut causer des ravages dans les maisons. Il peut consommer une multitude de choses, comme des livres, du tabac, des meubles, de la viande et des fruits variés.	PE - PP

Digestion 101

Afin de comprendre comment un insecte peut manger du plastique, il faut comprendre les principaux mécanismes de la digestion.

La digestion commence très tôt, la plupart du temps, dès l'entrée dans la bouche, grâce à des enzymes qui initient le travail. Les enzymes sont les éléments clés de la digestion. Il s'agit de protéines dotées de la propriété de défaire les grosses molécules en petites molécules. Les enzymes se retrouvent aussi, et en plus grande quantité, dans le tractus digestif de ces insectes.

Une association qui se distingue

Sur le plan du plastique, plusieurs microorganismes composant le microbiote ont la capacité de dégrader le plastique, la plupart étant des bactéries et quelques champignons. Certaines bactéries plastivores sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Bactéries	Types de plastique
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Acinetobacter baumannii i. Bactérie pouvant causer la pneumonie ▶ Achromobacter denitrificans i. Bactérie vivant dans le sol ▶ Bacillus cereus i. Bactérie causant des intoxications alimentaires ▶ Ptenotrophomonas pavanii i. Bactérie présente dans la canne à sucre lui permettant de transformer l'azote ▶ Bacillus simplex i. Bactérie présente dans le sol ▶ Bacillus amyloliquefaciens i. Bactérie colonisant les racines de certaines plantes ▶ Bacillus sp. i. Famille de bactéries présentes partout ▶ Enterobacter sp. i. Bactéries responsables de diverses infections, telles que les abcès cérébraux et les pneumonies ▶ Lysinibacillus sp. i. Bactéries possédants des propriétés insecticides 	<p>Polyéthylène Composant de la plupart des emballages plastiques</p> 
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Anoxybacillus rupiensis i. Bactérie vivant dans les sources d'eau très chaudes 	<p>Nylon Composant de la plupart des tissus synthétiques</p> 
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Bacillus sp. i. Famille de bactéries présentes partout 	<p>PVC Composant de plusieurs matériaux de construction</p> 

Un micro-quoi ? ...

Cependant, ce qui semble révolutionner la communauté scientifique n'est pas l'enzyme capable de digérer le plastique, mais plutôt les organismes libérant ces enzymes. En effet, le tractus digestif, autant celui des humains que des insectes, est habité par des millions de microorganismes, tels des bactéries, des champignons et parfois des virus. Cet ensemble d'organismes, vivant dans un hôte spécifique, se nomme le microbiote. Le microbiote est d'une grande importance dans la santé et la digestion efficace. Chez l'humain, il est composé d'environ 10 000 milliards de microorganismes.

Malgré le fait que le microbiote soit le principal acteur dans la dégradation du plastique, « il y a une relation presque symbiotique entre les bactéries et la larve qui leur permet de dégrader le plastique ; c'est une synergie » comme dit Christophe Lemoine, professeur en physiologie animale comparative à l'Université de Brandon lors d'une entrevue effectuée. Une « synergie » signifie que l'action du microbiote ne serait pas aussi forte sans la combinaison des deux partis. En effet, entre les deux organismes, il y a une association symbiotique, voulant dire que l'un ne peut vivre sans l'autre.

Il y a une relation presque symbiotique entre les bactéries et la larve qui leur permet de dégrader le plastique ; c'est une synergie.



Que se passe-t-il dans ce tube digestif ?

Concrètement, la dégradation du plastique se déroule en quatre étapes ;

- Les plastiques sont réduits en petits morceaux par les différentes parties de la bouche, puis rejoignent l'intestin ;
- Les microbes présents dans l'intestin se collent au plastique et commencent à le dégrader ;
- Le plastique est défait en plus petits morceaux par des enzymes, fournies par le microbiote intestinal ;
- L'hôte libère des substances induisant le mélange des liquides intestinaux, ce qui améliore l'efficacité des enzymes microbiennes.



Oui, mais... Comment ?

Avec toutes ces informations, il est possible d'en conclure que certains insectes, principalement leurs larves, sont bel et bien capables de digérer plusieurs formes de plastique. Parfait ! Mais maintenant, que faire de cette capacité ? Dans la littérature, nous avons retenu qu'il existe deux grands plans d'action. D'une part, il pourrait être envisageable de relâcher ces insectes plastivores à même un environnement pollué, sans aucune contrainte géographique, dans le but que ceux-ci dégradent les débris plastiques non traités. D'autre part, les insectes plastivores pourraient être utilisés dans les centres de tri, cloisonnés dans une pièce, destinés à digérer le plus de matière possible, dans le but de diminuer la quantité de plastique à envoyer dans un site d'enfouissement ou d'incinération.

Relâcher ces affamés dans la nature ?

L'idée de relâcher ces insectes en pleine nature afin qu'ils nous débarrassent de la pollution plastique peut, de prime abord, sembler une bonne idée, mais, l'est-elle vraiment ? Les écosystèmes et leurs habitants reposent sur un équilibre fragile, où chaque espèce possède un rôle spécifique, de la production primaire (la matière organique végétale) aux prédateurs et aux décomposeurs, tout le monde a sa place.

Ainsi, introduire de nouvelles espèces pourrait être dangereux et pourrait, par exemple, causer l'extinction d'espèces locales. Par exemple, ceci a failli être le cas pour la Tortue de l'Ouest, en Colombie-Britannique, qui possède maintenant le statut d'espèce menacée suite à l'invasion de son habitat par le Ououaron. Le ououaron, une espèce de grenouille invasive originaire de l'est des États-Unis, se nourrit en effet des œufs de la tortue ainsi que ses juvéniles de 3 ans et moins. Sa présence, jumelée à la sécheresse et à la destruction de son habitat, a mené la Tortue de l'Ouest au bord de l'extinction.

Des interactions dangereuses

La chenille de l'un de nos plastivores, *Galleria mellonella*, est à son état naturel un fléau pour les apiculteurs puisqu'elle se nourrit de cire d'abeille. Il est donc très important de procéder avec prudence lorsque l'on introduit une nouvelle espèce dans l'environnement. *Tenebrio molitor*, de son côté, est un herbivore et poserait plutôt un risque pour les espèces végétales. Il faut de plus considérer l'aspect des interactions entre les espèces. Une fois papillon, *Galleria mellonella* va-t-il compétitionner avec d'autres pollinisateurs pour les ressources ? Qu'en est-il des prédateurs, vont-ils laisser tomber leurs proies habituelles pour des nouvelles ?

Une entrevue avec Clint Kelly, professeur d'écologie à l'Université du Québec à Montréal, nous a permis de répondre à ces questions, mais nous en a aussi emmené d'autres. Premièrement, dans l'éventualité où on libérerait *Galleria mellonella* dans l'écosystème, ses larves préféreraient probablement la cire d'abeille au polyéthylène, cela amènerait un problème pour les populations d'abeilles. En fait, même si les larves préféreraient le plastique, le choix de nourriture au stade larvaire a un grand impact sur la reproduction des papillons au stade adulte. En effet, la diète des chenilles affecte le phénotype, c'est-à-dire l'apparence, du papillon qu'elle deviendra. Le choix du partenaire chez ces insectes dépend en partie de l'apparence, mais aussi de signaux chimiques dégagés par l'insecte, sous forme de phéromones. Une mauvaise diète entraînerait alors des chances minimales de reproduction, ce qui rendrait le maintien d'une population de ces papillons impossible.



Tenebrio molitor

Deuxièmement, en ce qui concerne les *Tenebrio molitor*, le risque d'invasion est très minime, puisqu'il est déjà présent sur tous les continents. Cependant, dans l'optique où ceux-ci mangeraient le polystyrène, il pourrait y avoir un impact important sur leurs prédateurs. Effectivement, même si ces insectes sont capables de digérer le plastique, il est possible que des particules ou des substances chimiques nocives pourraient rester à l'intérieur de celui-ci et affecter ensuite les oiseaux ou autres organismes se nourrissant de l'insecte. Beaucoup de recherches doivent encore être menées avant de penser à libérer ses insectes dans la nature.

M. Lemoine, avec qui nous avons eu la chance de nous entretenir, nous a cependant dit qu'il serait intéressant, si possible, de faire survivre les microorganismes composant le microbiote, sans avoir besoin de l'insecte lui-même. Cela éliminerait les risques comportementaux amenés par les insectes tout en tirant des bénéfices écologiques. Il serait donc très intéressant de poursuivre des recherches dans cette optique pour le futur.

Des insectes atablés

La seconde option serait l'aménagement de centres ou de sections dans les usines de traitement des déchets dédié à l'entretien et l'utilisation d'insectes plastivores. Il n'existe pas encore de site fonctionnel où ce type d'infrastructure a été considéré, mais théoriquement ce système a plusieurs avantages sur le précédent. Notamment, puisque les insectes sont à l'abri de l'environnement au sein des usines, ils ne risquent pas d'être la proie d'espèces insectivores. Il est aussi plus facile de réduire, et même dans les meilleurs cas, d'éliminer l'impact de l'introduction de ces insectes dans un nouvel écosystème. Finalement, un troisième avantage à maintenir les insectes dans des infrastructures contrôlées est la facilité de gérer une possible invasion.

Mais tout n'est pas si facile

Par contre, cette option a aussi plusieurs désavantages. Premièrement, elle nécessite un investissement considérable en infrastructure physique et organisationnelle, ce qui peut représenter des coûts élevés, surtout au niveau exploratoire actuel, mais aussi en maintenance sur un plus long terme. Deuxièmement, il y a le risque que les populations d'insecte abrité sur le site s'échappent dans l'environnement, ce qui peut entraîner des conséquences considérables sur un écosystème qui n'y est pas préparé, ce qui peut rendre les sites un danger biologique important selon l'espèce qui y est exploitée, comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent.

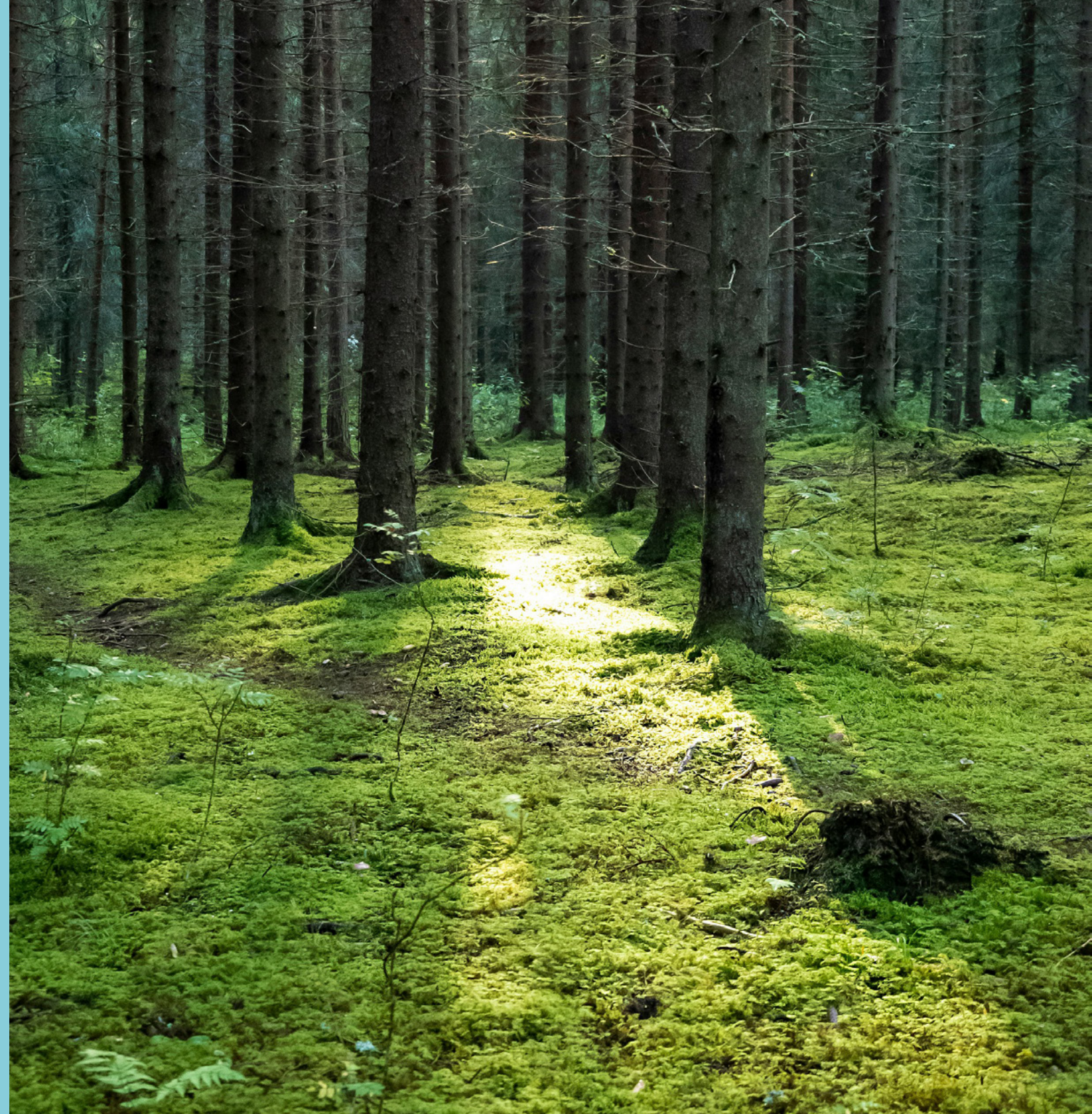
Ce n'est pas pour demain

Le potentiel des insectes plastivores est prometteur. Ces derniers réduisent les déchets plastiques de manière écologique, n'émettent pas de produit supplémentaire nocif lors de leur dégradation et assurent une possibilité de contrer la pollution. Cependant, leur implémentation dans la roue du recyclage n'a pas été assez étudiée ; il reste à trouver une manière économique, efficace et durable d'utiliser leurs capacités digestives. Malgré tout, il est encourageant de voir les possibilités que les insectes, aussi petits soient-ils, pourraient avoir pour contrer l'erreur humaine. Sur ce, bon appétit et attention aux microplastiques !



Par Aglaé Blanchard,
Mégan Campeau,
Daverick Desforges
et Noémie Houle

Les *bryophytes*, des alliées pour la *restauration*



Ces plantes modestes longtemps sous-estimées par la communauté scientifique cachent bien leur jeu. De récentes études se penchent sur le potentiel des bryophytes d'être d'indispensables actrices pour la restauration d'écosystèmes perturbés.

Il est indéniable que de plus en plus de milieux se retrouvent aujourd'hui perturbés par les activités humaines, que ce soit par l'exploitation d'un milieu forestier ou par la contamination industrielle. Les paramètres physico-chimiques et la stabilité d'un écosystème touché s'en trouvent alors modifiés, ce qui nuit à leur bon fonctionnement. Cela a un impact direct sur la biodiversité, entraînant de nombreuses conséquences négatives pour l'humain qui bénéficie également des services écologiques fournis par un milieu naturel. À la suite d'une perturbation, il peut être difficile, voire impossible, pour un écosystème de retrouver son état initial d'équilibre. C'est le retour à la case départ.

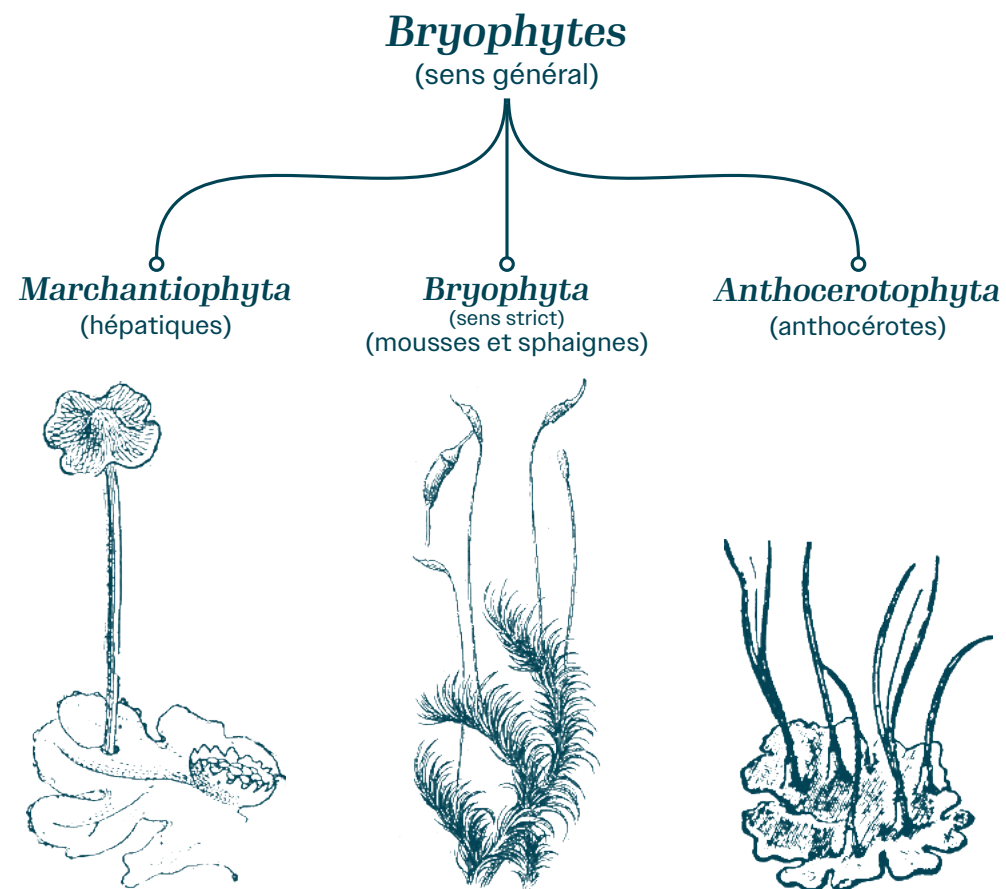
L'implantation de bryophytes est une méthode qui mérite d'être connue, car en milieu naturel, ces plantes jouent le rôle d'espèces pionnières et ingénieuses d'écosystème. Dans un contexte de restauration, elles faciliteraient et accéléreraient ainsi l'établissement de la succession végétale, permettant à l'écosystème de retrouver un nouvel équilibre.

Quelques exemples de renaturalisation par les bryophytes

Dans un article publié par Québec Science en 2013, la directrice de l'Institut de recherche sur les forêts de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Nicole Fenton, met de l'avant la possibilité de renaturaliser à l'aide de bryophytes des affleurements rocheux et des sites dégradés situés près de la Fonderie Horne à Rouyn-Noranda. Nous l'avons donc consultée pour en savoir davantage sur ce projet innovateur. Lors de notre entretien, la chercheuse mentionne que c'est le Cératodon pourpre (*Ceratodon purpureus*) qui est utilisé. Cette espèce de mousse est l'une des plus connues et des plus répandues au monde ; elle pousse sur les toitures, les roches, dans les fissures de la route et également au bord des chemins, souligne-t-elle. Ainsi, l'implantation de ces plantes, déjà connues pour être capables de pousser sur un site contaminé, pourrait faciliter et accélérer la venue d'autres espèces végétales. L'étude est prometteuse malgré qu'elle n'en soit qu'à ses premiers balbutiements.

Classification des bryophytes

Alors que, par souci du détail, les botanistes restreignent l'embranchement des bryophytes (*Bryophyta*) aux mousses et aux sphaignes, le système taxonomique traditionnel qui classifie les espèces en fonction de caractères morphologiques a longtemps appliqué le terme bryophyte à trois embranchements regroupant des plantes dépourvues de vrai système vasculaire : les *Marchantiophyta* (hépatiques), les *Bryophyta* (mousses, sphaignes) et les *Anthocerotophyta* (anthocérotes).



Mousse (espèce inconnue) sur un substrat rocheux

Toujours dans le domaine bioclimatique nordique de la forêt boréale, mais plus à l'est du pays, au Labrador, une étude démontre que la mousse Pleurozie dorée (*Pleurozium schreberi*) facilite la survie et la croissance des semis d'épinette noire, offrant une protection physique contre les herbivores et la mortalité hivernale, ainsi qu'une source de nutriments.

Des espèces pionnières

Étant des espèces pionnières, les bryophytes possèdent certains atouts leur permettant de s'établir en premier dans un environnement. Ces particularités sont en fait des adaptations ancestrales qui datent d'il y a environ 450 millions d'années, lors de la conquête du milieu terrestre par les plantes, soit plus précisément par les bryophytes, dont les ancêtres étaient aquatiques. Mais qu'est-ce qui rend ces conquérantes si particulières ?

D'abord, elles sont adaptées à des conditions extrêmes. Par exemple, il est possible de retrouver des bryophytes sur des terrains de glaciers, près de volcans à la suite d'une éruption et dans des milieux contaminés. Ensuite, contrairement aux plantes vasculaires, elles sont dépourvues de racines et de vrai système de circulation. Elles acquièrent donc leurs nutriments via l'air ou l'eau, ce qui leur permet de croître et de se développer sur un substrat nu, sans nécessiter la présence d'un sol fertile. De plus, les bryophytes se reproduisent de manière sexuée et peuvent également se propager par fragmentation végétative (ou reproduction clonale), qui consiste en le développement d'un nouvel individu à partir de fragments ou de parties détachées de la plante mère. Ce dernier mode de reproduction leur permet de coloniser rapidement de nouveaux environnements.

Distinction structurelle

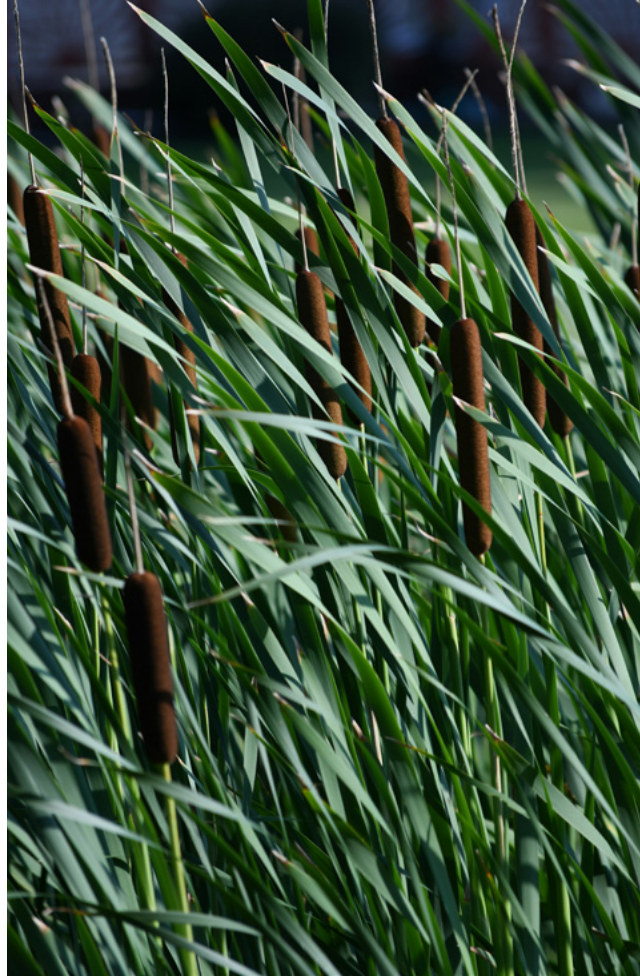
Le Polytric élégant (à gauche), par exemple, dévoile une caractéristique intrigante : l'absence de tissus vasculaires, tels que le xylème et le phloème présents chez les plantes vasculaires, par exemple les conifères, comme ici (à droite) un pin. Ces tissus jouent un rôle essentiel dans le transport de l'eau et des nutriments à travers la plante.



Bryophyte



Plante vasculaire



Typha latifolia

Lutte contre une espèce invasive de tourbières

Lorsqu'un milieu est perturbé, il est courant de constater que certaines espèces présentes sur un site laissent place à des espèces étrangères à ce milieu qui s'implantent rapidement et forment des monocultures. C'est le cas de la quenouille à larges feuilles (*Typha latifolia*). Bien qu'elle soit indigène au Québec, elle envahit les tourbières dégradées, ce qui nuit à leur rétablissement. Une étude a démontré que le retrait des tiges et des racines de quenouilles suivi par l'implantation d'un tapis de sphaigne permet d'empêcher la re-germination de *Typha latifolia* dans les tourbières fibriques (naturellement dominées par une végétation principalement composée de sphaignes). Plusieurs raisons permettent d'expliquer l'incapacité de cette espèce invasive à germer en présence de l'épais tapis qui agit comme compétiteur, notamment la réduction de l'accès à la lumière, l'impossibilité des graines à accéder au substrat, ainsi que l'augmentation de l'acidité du sol dû à la décomposition de la sphaigne.



La Thuidium tamariscinum est une espèce de bryophytes présente dans les milieux frais et ombragés.

Espèces biosurveillantes et dépolluantes de métaux

La contamination métallique dans les milieux naturels, comme ceux près de la fonderie Horne, soulève beaucoup d'inquiétudes pour la population et il est important d'intervenir avant que ce problème ne cause encore plus de dommages. Les métaux faisant l'objet de problème près de la fonderie Horne, soit l'arsenic, le plomb et le cadmium reçoivent l'appellation d'éléments traces métalliques (ETM) lorsque leur concentration dans un milieu est faible. En plus de n'avoir aucune valeur nutritionnelle ou physiologique pour les humains ou les animaux, ces métaux se trouvant dans l'eau, les sols et dans l'air, sont très toxiques et sont carcinogènes. Il est donc prioritaire d'agir afin de limiter notre exposition à ces métaux.

Une fonderie controversée

Depuis quelques années, la fonderie Horne à Rouyn-Noranda est une grande source d'inquiétude pour la population environnante. En effet, les rejets aériens d'arsenic, de cadmium et de plomb émis par la fonderie atteignent et contaminent les milieux naturels près de l'usine. Les polluants affectent l'écosystème et sa biodiversité, et l'humain n'en fait pas exception. En cas d'exposition, ces contaminants peuvent avoir divers effets sur les humains comme des cancers et des problèmes neurologiques. Une évaluation de l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), parue en juillet 2022, indique que le mélange d'arsenic et de cadmium, étant tous les deux carcinogènes, se retrouve au-dessus de la valeur étant considérée comme négligeable au Québec (un cancer causé en plus pour 1 million de personnes exposées). Cette valeur se voit augmentée de 1 à 61 cas pour 100 000 habitants pour la ville de Rouyn-Noranda et 1 à 87 pour 100 000 habitants pour le quartier Notre-Dame (à quelques pas de la fonderie), dépassant grandement la valeur considérée comme négligeable au Québec.

Des espèces ingénieuses

Étant en mesure de se développer sur un substrat nu et vu leur capacité à régénérer les sols, le rôle facilitateur des bryophytes fait de ces plantes les parfaites créatrices d'un nouvel habitat où pourront s'établir de jeunes pousses. Nicole Fenton précise que la couche dense que créent les mousses au sol retient et accumule toutes sortes de débris qui permettent éventuellement le développement d'un sol fertile via la décomposition bactérienne. De plus, elle permet de retenir l'eau, ce qui facilite la germination de graines. La fertilité du substrat est ensuite accrue par une association entre les bryophytes, notamment les sphaignes, et les cyanobactéries. Ces dernières profitent de l'abri fourni par le feuillage qui, en retour, permet à l'hôte de fixer l'azote atmosphérique et de le libérer dans le sol sous une forme assimilable par les plantes vasculaires. La chercheuse ajoute qu'elles sont aussi l'abri de plusieurs microorganismes tels que des champignons mycorhiziens, qui formeront plus tard une relation symbiotique avec les plantes vasculaires qui leur sont essentielles pour l'assimilation de nutriments. Toutes ces associations entre les plantes et ces microorganismes contribuent à modifier l'environnement dans lequel elles se trouvent et ainsi faciliter l'établissement ultérieur d'une succession végétale.

Tapis de lichens



Espèces indicatrices de perturbations

La présence des bryophytes dans un milieu peut fournir de précieuses indications sur son état écologique. Pour saisir pleinement ce lien, il est essentiel de comprendre les distinctions entre les forêts anciennes et les forêts plus jeunes. La composition des espèces de bryophytes diffère en fonction de l'âge de la forêt. En effet, les forêts plus âgées, dans lesquelles il n'y a pas eu de perturbation depuis un bon moment, renferment une grande biodiversité générale, mais la diversité au niveau des mousses y est plus limitée. Étant majoritairement des espèces intolérantes à l'ombre, les mousses ont besoin de lumière pour survivre. Ainsi, la capacité de dispersion des mousses dans les forêts matures où la grande diversité d'arbres brime l'accès à la lumière est beaucoup plus faible. Les mousses présentes au début de la succession végétale sont donc bien souvent remplacées par des espèces plus spécialisées aux conditions uniques retrouvées dans les vieilles forêts. C'est d'ailleurs le cas de la mousse Thuidie à feuilles de Tamaris (*Thuidium tamariscinum*). Si vous rencontrez un jour cette espèce spécialisée dans un milieu naturel, vous pouvez conclure que vous vous trouvez dans une forêt âgée, où il n'y a pas eu de perturbations depuis longtemps.

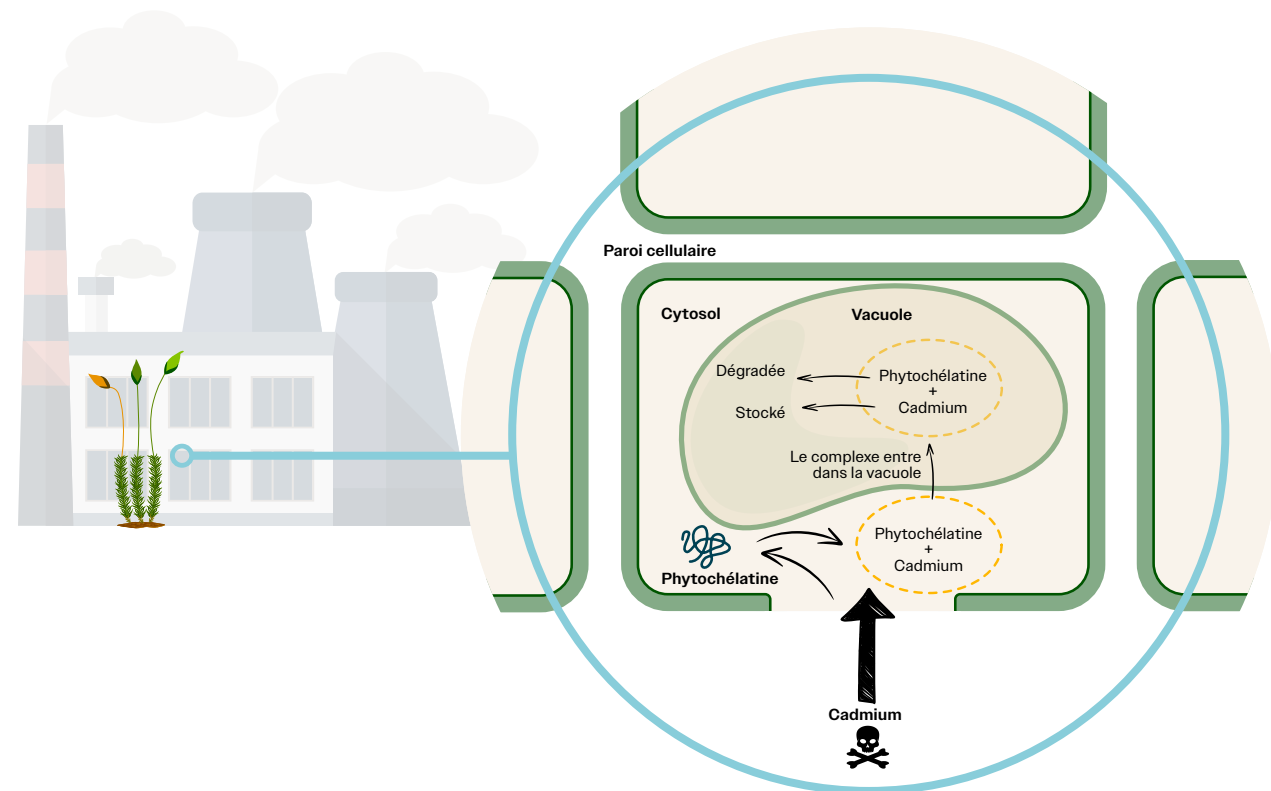
Vue de haut de la Fonderie Horne, entourée d'une contamination visible par une teinte orangée.



C'est là qu'entrent en jeu les bryophytes. Ne possédant pas de racine ni de système vasculaire, elles ne contrôlent pas leur apport ou leur perte en eau, ce sont donc les feuilles des bryophytes qui échangent directement avec l'eau. Les métaux contenus dans l'eau peuvent ainsi être accumulés dans les bryophytes, un phénomène appelé bioaccumulation. En effet, on retrouve une forte corrélation entre la mesure de la concentration d'un métal retrouvé dans l'eau et celle retrouvée dans la bryophyte. Les bryophytes ont la capacité d'accumuler très rapidement les métaux, soit de quelques heures à quelques jours, et prennent de quelques semaines à quelques mois à se décontaminer de ces métaux. Évidemment, afin de pouvoir accumuler ces polluants métalliques, les mousses doivent être en mesure de tolérer leurs effets toxiques, qui peuvent notamment comprendre des lésions à la membrane cellulaire ou une diminution de leur activité photosynthétique. Leur tolérance est principalement due à des molécules synthétisées par les bryophytes appelées « phytochélatines ». Ces molécules ont la capacité de se lier aux métaux comme l'arsenic, le plomb et le cadmium et ainsi diminuer leurs effets toxiques.

L'incroyable capacité des bryophytes

L'incroyable capacité des bryophytes à tolérer les effets toxiques des métaux comme le cadmium (Cd) est due à la présence de phytochélatines (PC) dans la cellule. Ces petites molécules, dont la synthèse est enclenchée par la présence de métaux lourds, se lient à ces métaux et forment un complexe moléculaire. Ce complexe est ensuite transporté vers la vacuole, qui, grâce à son pH acide, permet la dissociation du complexe et donc, la dégradation du peptide PC. Pendant ce temps, le métal est stocké dans la vacuole.



Depuis les années 1970, des études démontrent que, grâce à leur capacité à bioaccumuler et à tolérer les contaminants métalliques, il est possible d'utiliser les bryophytes afin de faire de la biosurveillance près de sites d'extraction minière. Les mousses permettent aussi de trouver des signes de contamination passée, puisqu'elles ont la capacité de conserver une certaine concentration d'un contaminant, même s'il ne se trouve plus dans l'eau environnante. Cette capacité porte le nom d'effet mémoire. D'ailleurs, plusieurs pays d'Europe utilisent activement des bryophytes aquatiques dans le but de faire la biosurveillance de déchets provenant de l'industrie minière afin d'agir rapidement en cas de contamination sévère. Deux types de biosurveillance peuvent être réalisés à l'aide des bryophytes : la biosurveillance passive et la biosurveillance active. La biosurveillance passive consiste à utiliser des populations naturelles de mousses déjà présentes dans le milieu, ce qui présente un avantage financier pour les compagnies, puisque l'implantation de mousse n'est pas nécessaire. De son côté, la biosurveillance active consiste à transférer une espèce de bryophyte sur le site à l'étude. L'avantage de cette méthode est que, puisqu'une seule espèce de bryophyte est utilisée pour le milieu et que les mécanismes physiologiques de cette espèce sont les mêmes pour tous les individus, les données recueillies sont davantage homogènes.



Ceratodon purpureus

Par contre, ne serait-il pas plus simple d'analyser directement les contaminants dans l'eau ou l'environnement ? En fait, les métaux retrouvés dans l'eau ou l'environnement sont parfois présents en très petite quantité, si petite que leur concentration n'est pas détectable. Cependant, grâce au processus de bioconcentration, soit la capacité d'un organisme, ici les mousses, à accumuler une substance issue de son environnement et à augmenter sa concentration, il est plus facile de détecter les contaminants dans ces plantes que directement dans l'environnement.

Sachant maintenant comment détecter une contamination métallique dans un milieu naturel, il est important de le décontaminer. Ce processus de décontamination est appelé « remédiation » et correspond à la diminution de la concentration d'un contaminant dans l'environnement jusqu'à ce qu'elle atteigne un niveau stable. Plusieurs méthodes de remédiation peuvent être utilisées pour décontaminer un milieu contaminé par des métaux, comme des méthodes physiques utilisant du carbone activé ou des méthodes chimiques utilisant l'ozonation ou des traitements UV. Cependant, il existe aussi une méthode de remédiation biologique appelée « phytoremédiation », qui consiste à utiliser des plantes, telles que les bryophytes, afin de stocker dans ses tissus ou dégrader un contaminant.

Étant un enjeu répandu à l'échelle mondiale, la dégradation des milieux naturels nous affecte bien plus que ce que l'on pense. La perte de diversité d'un écosystème causée par la dégradation des habitats, au-delà de la disparition de certaines espèces, implique plusieurs enjeux sociétaux, puisque notre société dépend des services rendus par les écosystèmes. C'est pour cette raison qu'il est de notre devoir de se mettre à la tâche et de trouver une solution à ce problème. Que ce soit par la contamination d'un milieu, ou simplement par sa destruction physique, les milieux perturbés nécessitent une réhabilitation. Les capacités étonnantes des bryophytes à remettre sur pied un écosystème, grâce à leur grande capacité de colonisation, leur effet facilitateur et leur habileté à décontaminer un milieu les placent sur un piédestal lorsqu'il est question de phytoremédiation. Bien que peu connues, ces plantes possèdent tous les critères nécessaires pour faciliter la restauration environnementale. Étant une méthode en plein développement et prometteuse, il serait bénéfique d'exploiter davantage cette avenue s'offrant à nous.



Tapis de mousse recouvrant un rocher à Saint-Donat

Au terme de la 18^e édition du *Point Biologique*, nous tenons à remercier toutes les personnes ayant contribué à sa réalisation, de près ou de loin. Un gros merci aux auteurs et autrices pour leur travail de qualité, aux membres du comité de sélection pour leurs précieuses évaluations et à la graphiste pour la structure artistique de la revue. Nous tenons aussi à remercier vivement nos partenaires de financement, soit la Société de biologie de Montréal (SBM), les Services à la vie étudiante de l'UQAM (SVE), Québec Science et Espace pour la vie. Finalement, merci à nos lecteurs et lectrices pour leur confiance et leur intérêt. Cette année encore, votre engagement permet le maintien de cette tradition académique et le partage de connaissances scientifiques accessibles à tous et à toutes.



QUÉBEC SCIENCE



UQAM | Département des sciences
biologiques

UQAM | Faculté des sciences
Université du Québec à Montréal

Crédits des photos

Page couverture : Christophe Rouleau-Desrochers

Page 10 : Victor Danneyrolles et al., 2023

Page 12 : NRC Research Press

Page 13 et 16 : Joannie Loranger

Page 14 : Alain Carron

Page 15 : Léo et Lorraine

Page 22, 23 et 27 : Marie d'Ottavio

Page 26 : Jules Cazaubon

Page 29 : Annie-Claude Malenfant

Page 44 : René Limoges

Page 53 : Noémie Houle

4^e de couverture : Rosaly Legault

Les textes publiés dans cette revue peuvent être reproduits, copiés ou distribués pour autant que la source soit mentionnée. Les images ne peuvent être reproduites ni redistribuées.

Pour rejoindre l'équipe de la revue, veuillez écrire au lepointbiologiqueuqam@gmail.com

Cette revue est également disponible en version électronique : <https://lepointbiologique.com>



Le baccalauréat en biologie en apprentissage par problèmes (APP)

C'est un programme qui encourage le travail d'équipe de façon active. La méthode APP permet de développer des compétences en communication, en analyse de problèmes, en recherche d'informations, et une capacité de vulgarisation. C'est à la dernière année que l'étudiant.e peut se spécialiser en écologie, toxicologie ou biologie cellulaire.

Pour plus d'informations sur le programme, communiquez avec le module de biologie
moduledebiologie@uqam.ca