

# LE POINT BIOLOGIQUE

**Volume 19 - 2025**

**Le potentiel thérapeutique  
de la psilocybine : une révolution  
dans le traitement des troubles  
de santé mental ?**

---

**L'alchimie des plantes  
médicinales :  
de la nature aux remèdes**

---

**Zombies fongiques : le  
piège biologique !**

---

**De pathogène à allié... quand  
l'évolution recycle des virus**

---

**Quand les océans s'éteignent :  
la bioluminescence des  
céphalopodes menacée par  
l'exploitation minière ?**







### Membres du comité

Charlotte Vincent-Tanchoux

Pauline Gil

### Comité de sélection

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

Lyne Picard | Biologiste Société de biologie de Montréal

Audrey Robert | Administratrice Association  
des biologistes du Québec (ABQ)

Laura Jeanne Raymond-Léonard | Assistante  
de recherche en écologie à l'UQAM

David Morse | Chercheur à l'institut de  
recherche en biologie végétale (IRBV)

Michel Chénier | Vétérinaire Société  
de biologie de Montréal (SBM)

Magalie Houde | Chercheuse scientifique spécialisée  
dans les contaminants aquatiques chez Environnement  
et Changement climatique Canada

### Encadrement professoral

Nicolas Pilon

Tanya Handa

### Graphisme et mise en page

Virginie Jullien | Sous les étoiles — studio graphique

### Crédits photos couvertures

Jonatan Pie, *Unsplash* | Photo couverture avant

Ray Hennessy, *Unsplash* | Photo couverture dos

# Table des *matières*







*Charlotte*  
**Vincent-Tanchoux**

*Pauline*  
**Gil**

# **Le comité** *du Point* *Biologique*

Nous sommes fières de vous présenter la 19<sup>e</sup> édition de la revue uqamienne *Le Point Biologique* !

Ce fut un parcours semé d'embûches — marqué par un certain désengagement général — mais nous y sommes parvenues. Et c'est avec une grande fierté que nous vous offrons un produit final unique, fruit d'un engagement sincère de notre part, qui vous fera découvrir des sujets d'actualité fascinants sous un angle scientifique vulgarisé et accessible.

Cette revue regroupe cinq articles rédigés par des étudiant·es au baccalauréat en biologie, dans le cadre d'un cours de communication scientifique. Parmi les huit équipes initialement intéressées, cinq ont été sélectionnées par un comité composé de spécialistes du domaine, selon la qualité et la pertinence de leurs travaux. Les textes abordent des thèmes variés et sont issus des trois concentrations : écologie, toxicologie, ainsi que biologie moléculaire et cellulaire.

Chaque équipe a mené des recherches approfondies, souvent accompagnées d'entrevues avec des expert·es, pour offrir un contenu à la fois rigoureux et captivant. Le but : transmettre leurs connaissances de manière claire et stimulante, tout en contribuant à la diffusion de la culture scientifique et étudiante.

Pour les curieux·ses, les versions originales des articles sont disponibles sur notre site web : [www.lepointbiologique.com/volume-19-2025](http://www.lepointbiologique.com/volume-19-2025).

Depuis 2007, *Le Point Biologique* est une revue gratuite, portée par des étudiant·es passionné·es qui ont à cœur de rendre la science accessible à tou·tes. En ces temps où les enjeux scientifiques sont au cœur des préoccupations collectives, la clarté de l'information n'a jamais été aussi importante.

Au-delà du contenu, nous espérons que cette revue laissera une trace de la promotion 2024-2025. Une cohorte peut-être moins engagée que les précédentes dans ce projet, mais composée d'élèves curieux·ses, brillants·es et capables. Ce numéro témoigne de leur passage, de leurs efforts, et de leur passion pour la biologie, même si tous·tes n'ont pas pu ou voulu y contribuer activement. Il nous tenait à cœur qu'on se souvienne d'eux·elles, et qu'on reconnaisse malgré tout la richesse et la valeur de notre génération.

Grâce au comité de cette 19<sup>e</sup> édition — composé cette année uniquement de nous deux, Charlotte et Pauline — vous tenez entre vos mains une revue conçue avec rigueur, créativité, et beaucoup de détermination. Nous espérons sincèrement qu'elle vous plaira. Pour nous, cette revue, était plus qu'un projet : c'est une manière de dire au revoir à notre baccalauréat, de graver une dernière fois notre voix dans les murs de l'UQAM.

***Merci et bonne lecture à tous,***  
vous l'avez mérité (et nous aussi) !





Par Charlotte Vincent-Tanchoux,  
Gabriel Marcotte,  
et Shayan Lafrance

# **Le potentiel *thérapeutique* de la psilocybine : une *révolution* dans le traitement des *troubles de* *santé mentale* ?**



*Dépression, anxiété, stress post-traumatique et trouble obsessionnel compulsif, tous ces troubles de santé mentale sont aujourd'hui observés sous un nouvel angle de traitement : la psilocybine, un composé actif des « champignons magiques ». Cette molécule soi-disant magique suscite un intérêt croissant dans le domaine de la santé mentale. Longtemps associée aux rituels ancestraux et à la contre-culture psychédélique, elle fait aujourd'hui l'objet de recherches scientifiques prometteuses. Des essais cliniques suggèrent des effets bénéfiques, notamment chez les patients résistants aux traitements conventionnels. Toutefois, son utilisation soulève des questions quant à sa sécurité, aux dangers et aux conditions optimales liées à sa consommation. Cette nouvelle approche pourrait-elle révolutionner le traitement des troubles mentaux ?*

Au Canada, en 2024, **2,5 millions** de patients souffrants de troubles mentaux ont déclaré recevoir des soins inadéquats à leurs besoins. Certains des traitements actuels ne fonctionnent pas pour tout le monde. Par exemple, une étude, publiée dans la revue Canadian Family Physician, affirme qu'environ 21,7 % des patients souffrant de dépression présentent un trouble dépressif résistant, ce qui signifie qu'ils ne répondent pas aux traitements médicamenteux standards. Malgré les approches existantes, les antidépresseurs conventionnels peuvent mettre des semaines avant d'agir et s'accompagnent souvent d'effets secondaires variés. Face à cette impasse, est-ce que des traitements considérés comme alternatifs peuvent réellement remplacer la médecine moderne ? Qu'est-ce que la **psilocybine** ?



Crédit image : los\_angela/Getty image, obtenue via [www.canva.com](https://www.canva.com)

## D'où vient la psilocybine ?

### Un petit aperçu de son histoire...

#### Premières représentations

d'usage de champignons hallucinogènes dans l'art rupestre du plateau de Tassili (Algérie).

10 000  
av J.-C.



#### Bernardino de Sahagún

moine franciscain, documente les croyances aztèques y compris l'usage rituel des champignons hallucinogènes.

1529



14<sup>e</sup>- 16<sup>e</sup>  
siècle



#### L'empire aztèque

vénère Xochipilli, dieu des plantes enthéogènes, pour ses liens avec les transes hallucinatoires. La conquête espagnole interdit ces pratiques, mais elles survivent en secret.

#### Études à Harvard

Études sur la psilocybine à Harvard, notamment par Timothy Leary, et popularisation dans le mouvement contre-culturel. Interdiction progressive de la substance.

années 1960



1970

#### La loi américaine

classe la psilocybine parmi les substances interdites, freinant la recherche scientifique.





## Entre évolution et écologie...

Certaines recherches en écologie et en biologie évolutive suggèrent que la psilocybine pourrait procurer un avantage évolutif au champignon lui-même. Une étude avance que cette molécule altère le comportement des insectes et des mammifères qui en consomment en augmentant l'aire de déplacement de l'animal. L'animal qui se déplace dans des environnements plus larges et inhabituels peut indirectement favoriser la dissémination des spores fongiques sur de plus grandes distances et sur de nouveaux territoires. En retour, certains animaux, comme les hominidés auraient développé différentes adaptations neurochimiques à cette substance, ce qui pourrait expliquer les effets observés aujourd'hui en neurosciences.

Si cette hypothèse sur la coévolution champignon/humain n'est pas encore validée par des preuves directes, elle suggère néanmoins comment la psilocybine pourrait avoir façonné les interactions entre les organismes et leur environnement, tout en offrant aujourd'hui un nouvel angle d'étude sur ses effets neurobiologiques et thérapeutiques.



### Wasson

publie un article dans Life Magazine, popularisant les champignons hallucinogènes en Occident.

## 1957



## 1955



### R. Gordon Wasson

participe à une cérémonie avec la guérisseuse Maria Sabina au Mexique, marquant le début des recherches modernes.

## 1958



### Alfred Hofmann

isole et nomme la psilocybine à partir de *Psilocybe mexicana*, prouvant son rôle psychoactif.

### La FDA (Food and Drug Administration)

accorde la désignation de « thérapie innovante » à la psilocybine pour le traitement de la dépression résistante, marquant son retour en médecine..

## 2018



## 2006



### Une étude de Johns Hopkins

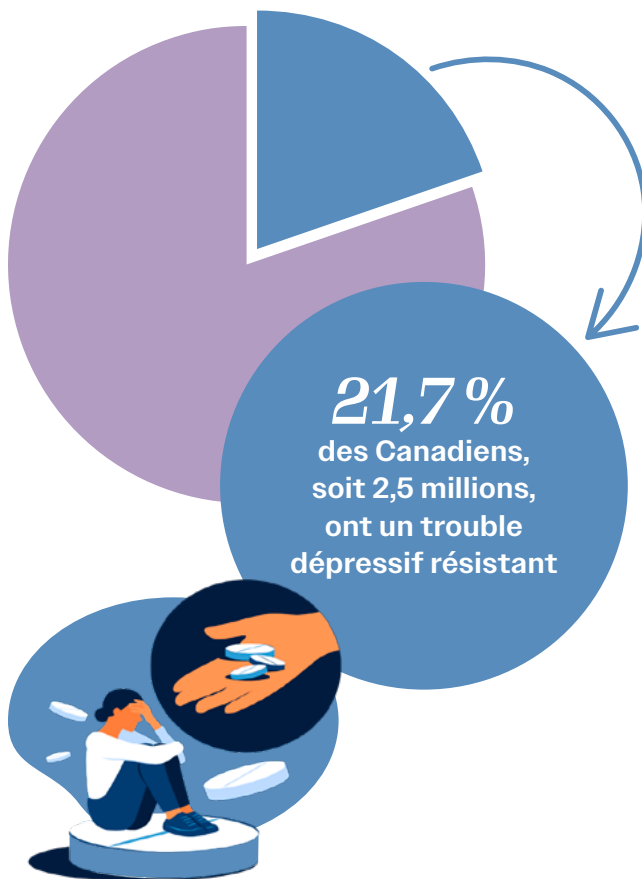
démontre que la psilocybine peut induire des expériences mystiques profondes et ouvre la voie à son usage thérapeutique.

## La psilocybine, c'est quoi ?

La psilocybine est la molécule psychoactive des « champignons magiques ». C'est un **alcaloïde**, une molécule azotée ayant des effets pharmacologiques marqués sur les humains. Elle est naturellement produite par une variété de champignons dans le monde qui est souvent consommé pour leurs effets sur le cerveau humain. Ces effets incluent l'euphorie, des déformations de la perception sensorielle, des hallucinations et bien d'autres...

## Un traitement prometteur ?

De récentes études, notamment dans la revue *Therapeutic Advances in Psychopharmacology*, suggèrent que la psilocybine aurait des effets régulateurs sur l'humeur et les émotions, ainsi que sur la réorganisation des circuits neuronaux dans le cerveau. De part ces effets, avancés par plusieurs études, elle pourrait offrir des bienfaits notables pour la santé mentale, notamment en atténuant les symptômes de la dépression, de l'anxiété, du stress post-traumatique, des troubles obsessionnels compulsifs (TOC) et des cancers en phases plus avancées. Les thérapies mises de l'avant s'articulent autour de plusieurs formes de traitements, incluant la thérapie assistée de psilocybine ou le microdosage. Au même moment, certains lèvent le drapeau pour aviser des risques possibles et du faible niveau de notre connaissance sur cette molécule. Mais qu'en disent les spécialistes ?



## Perspectives cliniques : La thérapie assistée

Au Canada, la psilocybine est une substance entièrement illégale. Lueur d'espoir, certaines exemptions existent, comme c'est le cas avec le programme d'accès spécial de santé Canada (PAS) qui a ajouté la psilocybine à sa liste d'exemption depuis janvier 2022. Cette exemption permet entre autres aux professionnels de la santé d'utiliser la psilocybine dans un contexte médical pour traiter les troubles de santé graves et qui ne répondent pas à la médication conventionnelle. Le Dr Michael Verbora est un de ces professionnels qui opère une clinique utilisant la psilocybine pour soigner les troubles de santé mentale résistant en Ontario.

### Dr Michael Verbora, un thérapeute utilisant la psilocybine

Selon le Dr Verbora, les psychédéliques, comme la psilocybine, assouplissent la rigidité des circuits neuronaux.

*« Les patients qui souffrent d'anxiété et de dépression ont tendance à ruminer beaucoup et à être très enfermés dans un schéma de pensée rigide et c'est ces patients qui en [la psilocybine] bénéficient le plus. »*

Dr Verbora affirme que, selon ses observations, « jusqu'à 80 % des patients répondent positivement à la thérapie à dose élevée ». Toutefois, le traitement ne s'adresse pas à tous. Sur ce sujet, Dr Verbora précise que des personnes comme « les patients atteints de schizophrénie, de troubles paranoïaques ou d'hallucinations présentent des circuits neuronaux plus flexibles ». L'assouplissement supplémentaire de ces circuits ne serait pas bénéfique, car ces patients « ont davantage besoin de structure neuronale et non moins ».

### Les circuits neuronaux se réorganisent

Les circuits neuronaux évoqués par le Dr Verbora sont en quelque sorte des « toiles d'araignée » formées par les quelque 100 milliards de neurones du cerveau humain, interconnectés par des synapses. Ces « toiles » relient différentes parties du cerveau et c'est ce qui nous permet d'accomplir des fonctions cérébrales complexes qui intègrent plusieurs capacités, comme la prise de décision face à une douleur ou la tristesse qui nous envahit lors d'une rupture amoureuse, par exemple. Mais ces réseaux ne sont pas figés dans le béton. Ils peuvent se réorganiser en consolidant les synapses ou bien en les relâchant selon les expériences vécues créant de nouveau circuits : c'est ce qu'on appelle la plasticité neuronale.

## Les circuits court-circuités

Selon une étude publiée dans la revue *Translational Psychiatry* en 2023, certains schémas formés par les circuits neuronaux durant la vie peuvent être sains et nous permettre de bien fonctionner cognitivement dans la vie quotidienne, tandis que d'autres peuvent être problématiques, voire pathologiques, entraînant certaines formes d'anxiété et de dépression. Or, selon Dr Verbora et Saïd Kourrich, professeur en neurobiologie de la santé mentale à l'UQAM, la psilocybine pourrait potentiellement agir sur la plasticité neuronale, permettant ainsi au cerveau de réorganiser ses circuits neuronaux.

### Effets bénéfiques mis en avant de la *psilocybine*

#### TOC

La psilocybine pourrait avoir un effet bénéfique sur les troubles obsessionnels compulsifs (TOC), en aidant les patients à briser des schémas de pensée répétitifs et rigides.



#### Dépression et anxiété

La psilocybine est étudiée pour le potentiel de ses effets dans le traitement de la dépression et de l'anxiété, notamment chez les patients résistants aux traitements. Elle agirait en modifiant les circuits neuronaux, permettant ainsi de réduire les symptômes dépressifs, améliorer l'humeur et l'estime de soi.

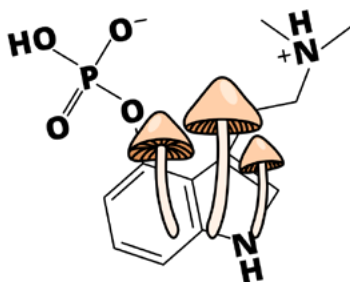


#### Cancer en phase avancée

La psilocybine a montré des effets prometteurs pour réduire l'anxiété liée en fin de vie et améliorer le bien-être psychologique chez les patients atteints de cancer en phase avancée.



## La chimie derrière la thérapie



### Le cheminement d'une molécule

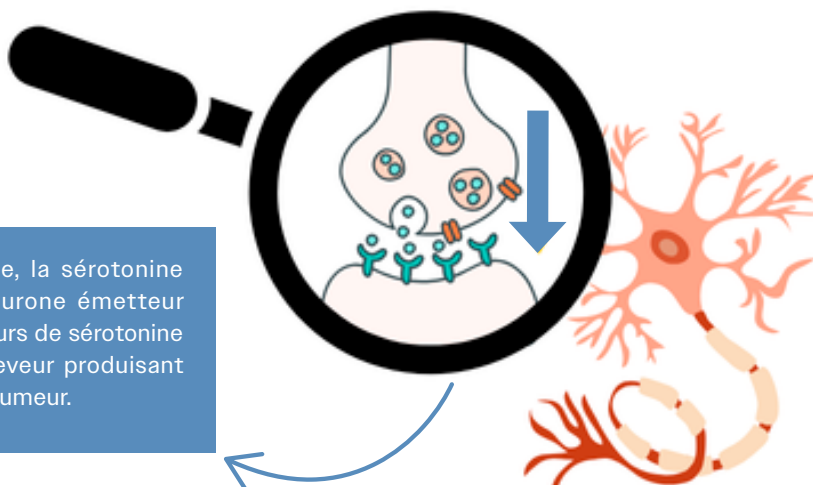
Les mécanismes par lesquels la psilocybine agit sur le cerveau commencent à être compris aujourd'hui. Ce que l'on sait, c'est que la psilocybine en elle-même est une molécule pharmacologiquement inactive. Elle voyage dans le sang vers le foie où elle est rapidement convertie en psilocine, un de ses dérivés actifs. Cette psilocine atteint le cerveau où elle interagit avec des récepteurs bien spécifiques dans les synapses, ce qui engendre les effets psychoactifs.

### La sérotonine, l'humeur et les émotions

Selon le professeur Kourrich, bien que la recherche soit à ses débuts, ce que l'on sait, c'est que les psychédéliques, comme la psilocybine, agissent principalement sur le système sérotoninergique, un système impliquant la sérotonine. Ce système dirige plusieurs processus cognitifs, tels que la régulation de l'humeur et des émotions, la perception sensorielle, le contrôle cognitif et la créativité. On appelle d'ailleurs la sérotonine la « molécule du bonheur ».

Dans la synapse, la sérotonine voyage d'un neurone émetteur vers les récepteurs de sérotonine du neurone receveur produisant des effets sur l'humeur.

Dans la synapse, la sérotonine voyage d'un neurone émetteur vers les récepteurs de sérotonine du neurone receveur produisant des effets sur l'humeur.





## Une diversité étonnante

La psilocybine n'est pas produite par une seule espèce. Elle est retrouvée dans une variété de champignons hallucinogènes, principalement dans des genres tels que *Psilocybe*, *Panæolus* et *Gymnopilus*. Ces espèces se développent dans des environnements variés, allant des prairies aux forêts tropicales, et sont réparties sur différents continents à travers le monde. Voici quelques-unes des espèces les plus connues contenant cette substance, illustrant la diversité des champignons producteurs de psilocybine.



*Psilocybe cubensis*



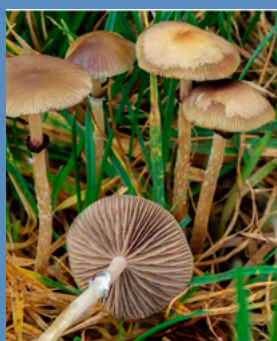
*Psilocybe caerulescens*



*Psilocybe mexicana*



*Psilocybe caerulipes*



*Psilocybe stunzii*



*Psilocybe cyanescens*



*Psilocybe azurescens*



*Psilocybe hoogshagenii*

## Une molécule de champignon qui agit sur des molécules humaines ?

La structure de la psilocine ressemble beaucoup à celle de la sérotonine. À leur contact, les récepteurs sérotoninergiques sur les neurones sont trompés et confondent la psilocine comme de la sérotonine, ce qui les active. Un signal est ensuite lancé au neurone pour qu'il modifie ses activités chimiques, ce qui engendre des effets variés chez le consommateur, dépendant du type de récepteur activé. Le consensus scientifique actuel est que l'activation d'un sous-type de récepteurs sérotoninergique appelé récepteurs 5-HT<sub>2A</sub> est responsable de la majorité des effets psychoactifs et hallucinogènes de la psilocine. Autrement dit, ce sont entre autres les récepteurs 5-HT<sub>2A</sub> qui font « planer » en plus d'avoir des propriétés présumées antidépessives et diminuant l'anxiété.

## Approches thérapeutiques

Les observations du Dr Verborja soulignent l'importance d'adapter l'approche thérapeutique en fonction des besoins spécifiques du patient. C'est dans cette perspective que différentes stratégies de traitement ont émergé.

## Macrodosage : une approche thérapeutique encadrée

Le macrodosage, tel que pratiqué par le Dr Verborja, repose sur l'administration de doses élevées de psilocybine soit généralement entre 2 g et 5 g de champignons séchés. Ces doses sont suffisantes pour induire des états modifiés de conscience. Cette approche est principalement étudiée dans le traitement de troubles de santé mentale graves, tels que la dépression résistante aux traitements et le stress post-traumatique.

Les séances de macrodosage se déroulent dans un environnement contrôlé, sous supervision médicale, avec un accompagnement psychologique avant, pendant et après l'expérience. L'objectif est de favoriser une restructuration cognitive et émotionnelle en permettant au patient de revisiter certains schémas de pensées rigides et de développer de nouvelles perspectives.

## Au-delà de la psilocybine

### Mescaline

Extrait du cactus peyotl, la mescaline est étudiée pour son potentiel à réduire l'anxiété et améliorer l'état émotionnel des patients souffrant de troubles de l'humeur, tels que la dépression.



### LSD (acide lysergique diéthylamide)

Dérivé de l'ergot du seigle, un champignon se développant sur certaines céréales, le LSD est exploré pour son potentiel à traiter des troubles comme la dépression et le stress post-traumatique en modifiant les circuits neuronaux pour améliorer l'humeur et la cognition.



### DMT (Diméthyltryptamine)

Trouvé dans des plantes comme Psychotria viridis, le DMT, utilisé dans l'ayahuasca (un breuvage traditionnel), est étudié pour son potentiel à traiter la dépression et l'anxiété, en offrant des expériences transformatrices sur le plan émotionnel et perceptuel.

## Paul Stamets

Pionnier de la mycologie moderne et auteur de sept livres, il est reconnu pour ses contributions significatives à la mycologie et à la recherche sur la psilocybine. Il est également ambassadeur des inventions pour l'American Association for the Advancement of Science (AAAS). En 2023, une nouvelle espèce de champignon psilocybine, *Psilocybe stametsii*, a été nommée en son honneur.



## Microdosage : une modulation subtile de l'activité cérébrale

À l'opposé du macrodosage, le microdosage requiert des doses de psilocybine entre 0,1 g à 0,5 g, soit des doses insuffisantes pour provoquer des hallucinations. Popularisée par le Dr James Fadiman, chercheur en psychologie, cette approche est souvent adoptée dans un protocole où une microdose est prise un jour sur trois.

Le Dr Fadiman suggère que le microdosage faciliterait la communication neuronale et la plasticité cérébrale, favorisant ainsi des effets subtils sur l'humeur, la créativité et la cognition. Bien que de nombreux témoignages rapportent des bénéfices, les données scientifiques restent limitées et peu concluantes.

## Approches combinées : Stimuler la neurogenèse et la plasticité cérébrale

Certains chercheurs explorent des stratégies combinant la psilocybine avec d'autres composés. Le protocole Stamets, proposé par le mycologue Paul Stamets, cherche à combiner la psilocybine avec d'autres substances, comme la niacine (vitamine B3) avec le champignon crinière de lion (*Herichium erinaceus*), un champignon réputé contenir des polysaccharides neuroprotecteurs. Cette combinaison vise à stimuler la formation de synapses.

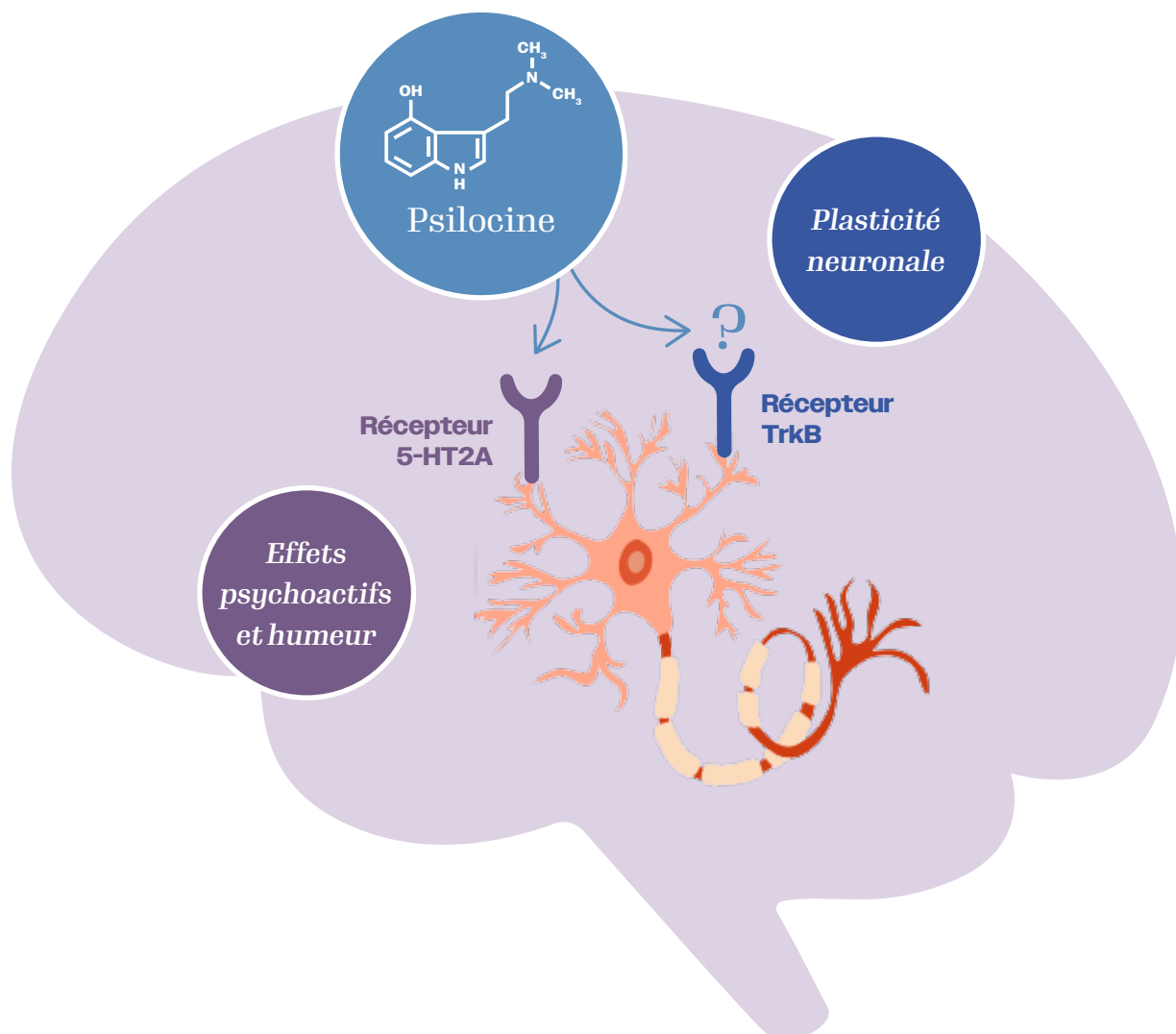
## Une alternative possible aux traitements actuels ?

En régulant l'humeur et les émotions, la psilocybine agit sur des processus cérébraux qui parfois nous causent bien des soucis de santé mentale. En fait, selon le professeur Kourrich, le système sérotoninergique qui est ciblé par la psilocybine, est aussi ciblé par beaucoup des médicaments prescrits pour le traitement de la dépression et de l'anxiété. Par ailleurs, les antidépresseurs les plus communs sont les inhibiteurs sélectifs de la recapture de la sérotonine et incluent notamment la paroxétine et la fluoxétine. Bien qu'ils agissent sur le même système que la psilocybine, leur action est différente. Ils bloquent les molécules responsables de recapter la sérotonine qui a été larguée vers le neurone receveur. La sérotonine peut ainsi s'accumuler dans la synapse entre les neurones et prolonger ses effets bénéfiques sur l'humeur. Cependant, certains patients présentent des troubles dépressifs résistants à ces traitements et la science n'explique toujours pas cette résistance. La psilocybine, ayant un mécanisme d'action différent sur le système sérotoninergique pourrait se présenter comme une alternative dans le traitement de ces troubles résistants.

## Un nouveau souffle à la compréhension : La plasticité neuronale

Les chercheurs suggèrent aujourd'hui de nouveaux récepteurs ciblés par la psilocybine. Certains de ces récepteurs suspectés de reconnaître la psilocine, tels que les récepteurs TrkB, sont reconnus être impliqués dans la formation de mémoire, la survie neuronale et plus intéressant encore, la plasticité neuronale. De plus, une étude dans la revue Nature Neuroscience avance que la psilocine et le LSD auraient une affinité de plus de mille fois supérieure à celle des antidépresseurs modernes sur les récepteurs TrkB !

Ceci encourage la théorie selon laquelle la psilocybine réorganise les circuits neuronaux et qui se base sur ce concept de plasticité neuronale. Les recherches sur ce type de récepteur pourront à terme ouvrir la voie vers une nouvelle compréhension des effets de la psilocybine et pourront peut-être expliquer les effets thérapeutiques observés en recherche clinique et même certains phénomènes hallucinatoires complexes, comme la « mort de l'égo » par exemple.





Crédit image : Ryland Zweifel/Getty image, obtenue via [www.canva.com](https://www.canva.com)

En bref, les études menées jusqu'à présent montrent des résultats encourageants, avec une amélioration des symptômes observés chez plusieurs patients. Toutefois, ces recherches restent limitées : les échantillons de patients sont souvent restreints, et les méthodologies varient d'une étude à l'autre. À ce jour, l'efficacité et la sécurité à long terme de la psilocybine ne sont pas encore établies avec certitude, et aucun consensus scientifique définitif n'a été atteint.

## Des Dangers ?

Le « bad trip » est l'un des dangers guettant les utilisateurs de psilocybine. Il se caractérise par une expérience très négative, voire traumatisante, accompagnée de détresse psychologique, de perceptions visuelles intenses et de manifestations physiques comme les tremblements ou des troubles de coordination. Certaines personnes peuvent aussi manifester des symptômes importants de psychose et de schizophrénie. L'usage de champignons entiers peut également causer des nausées et des intoxications alimentaires selon l'espèce consommée. De plus, les effets d'une consommation fréquente à long terme ont été peu documentés.

Néanmoins, la psilocybine reste une drogue présentant un profil pharmacologique relativement sécuritaire. Actuellement selon Santé-Canada, il y a peu de preuves permettant de conclure à des effets néfastes à long terme ou des troubles de dépendance reliés à la consommation occasionnelle de psilocybine. Les risques reliés à ces fameux « bad trip » sont bien documentés et sont principalement associés à la dose ingérée ainsi qu'à l'état mental du consommateur lors de l'ingestion. C'est d'ailleurs dans le souci d'éviter le « bad trip » que les thérapies réalisées par le Dr Verbora se font dans un environnement contrôlé, paisible et sécuritaire.

## Les barrières

Plusieurs obstacles se posent sur le chemin avant la venue de traitements contenant de la psilocybine. Son statut illégal dans de nombreux pays limite l'accès au financement public. De plus, étant un composé naturel, la psilocybine ne peut être brevetée, ce qui peut réduire l'intérêt des entreprises pharmaceutiques à investir dans des recherches approfondies, ralentissant ainsi l'avancement des connaissances et le développement de traitements médicaux. Par ailleurs, son utilisation comporte certaines préoccupations portant sur l'abus, la tolérance et la dépendance dans un usage récréatif où l'absence d'encadrement médical peut mener à un dosage inadapté et des effets psychologiques imprévus.

## Mais malgré tout

En dépit des obstacles législatifs, des incertitudes liées à son utilisation et des limites imposées par l'absence de brevetabilité, la psilocybine présente un potentiel prometteur dans le traitement de troubles de santé mentale résistants aux traitements traditionnels. Les recherches en cours, bien qu'encore limitées, ouvrent la voie à une meilleure compréhension de son mécanisme d'action et de ses effets thérapeutiques. Cependant, pour maximiser ses bienfaits tout en minimisant les risques, une approche rigoureuse et bien encadrée est nécessaire, associée à des recherches plus approfondies sur ses effets à long terme. L'évolution des législations et l'accent mis sur la recherche scientifique permettront, à terme, d'éclairer davantage cette voie thérapeutique, avec l'espoir d'offrir de nouvelles solutions pour les millions de Canadiens souffrant de troubles de santé mentale.

## Numéros utiles...

L'usage de la psilocybine fait l'objet de recherches scientifiques et peut comporter des risques en absence de supervision médicale.

Si vous éprouvez de la détresse psychologique ou avez besoin de soutien, des ressources existent :

### Services de crise du Canada

Téléphone (24 h/24, 7jours/7) : **1-833-456-4566**

### Info-Social 811

Composez le **811** pour parler à un intervenant en santé mentale

### Jeunesse, J'écoute

Téléphone : **1-800-668-6868**

Texte au **686868**

### Ligne québécoise de prévention du suicide

Téléphone : **1-866-277-3553**



Dr. Michael Verbora



## Nos experts en lumière

Diplômé de médecine à la Western University en Ontario, le Dr Michael Verbora est un expert dans les traitements psychédéliques et cannabinoïdes. En tant que directeur médical de Field Trip Health, il explore les bénéfices des thérapies assistées par des psychédéliques, notamment dans le domaine de la santé mentale. Son expérience approfondie en médecine psychédélique et son expertise dans l'utilisation de substances pour traiter des troubles tels que la dépression et l'anxiété font de lui une figure clé dans la compréhension du potentiel thérapeutique de la psilocybine.

Saïd Kourrich



Chercheur en neuropsychiatrie et Professeur à l'UQAM Saïd Kourrich est professeur en neurobiologie de la santé mentale à l'Université du Québec à Montréal (UQAM). Ses recherches portent sur les mécanismes neurobiologiques impliqués dans l'addiction aux drogues et les maladies comorbides associées, telles que l'anxiété et la dépression. En combinant biologie moléculaire, électrophysiologie et modèles animaux, ses travaux sur la plasticité neuronale contribuent à une meilleure compréhension des effets des substances psychoactives sur le cerveau, y compris leur impact potentiel sur la santé mentale et les troubles liés à l'addiction.



Par Rosalie Blake,  
Rachel Cloutier,  
Jérémy Smili,  
Lorie Therrien

*L'alchimie*  
**des plantes**  
*médicinales :*  
**de la nature aux**  
**remèdes**





Crédit image : Svetlana Romashenko de Pexels

*Une grande partie des médicaments modernes trouve ses racines dans le monde végétal. Les plantes médicinales regorgent de millions de molécules bioactives complexes, capables de moduler des processus biologiques à des fins thérapeutiques. Aujourd'hui, grâce aux avancées technologiques, les scientifiques développent de nouvelles méthodes pour exploiter cette diversité chimique et relever les défis de la médecine moderne.*



## Glossaire



Crédit image : Brett Sayles de Pexels

**Chromatographie** : Technique permettant de séparer plusieurs constituants d'un mélange en les faisant migrer, sur une phase immobile, par une phase liquide ou gazeuse.

**Écosystème** : Ensemble formé par les êtres vivants (plantes, animaux, micro organismes) et leur environnement (sol, air, eau), qui interagissent entre eux.

**Ethnobotanique** : Discipline qui étudie les relations entre l'Homme et les plantes.

**Métabolites secondaires** : Composés de plantes qui sont responsables de nombreuses activités biologiques ou pharmacologiques. Tels que les alcaloïdes, les terpénoïdes, les saponines, les composés phénoliques, les flavonoïdes et les tanins. Également appelés phytochimiques.

**Pathogène** : Agent biologique (généralement un micro-organisme comme une bactérie, un virus ou un champignon) capable d'engendrer une lésion ou d'induire une maladie chez les humains, les animaux ou les plantes.

**Pharmacognosie** : Étude des substances médicinales d'origine naturelle (plantes, animaux, champignons ou micro organismes).

**Phytochimie** : Science qui étudie la structure, le métabolisme et la fonction des composés phytochimiques, c'est-à-dire des substances naturelles issues des plantes, ainsi que les méthodes d'analyse, de purification et d'extraction appliquées à ces substances.

**Plantes médicinales** : Il s'agit d'une plante contenant des ingrédients actifs ou des métabolites secondaires qui possèdent une activité biologique. Une plante entière peut être médicalement active ou des parties de plantes.

**Taxon** : Unité de classification utilisée en biologie pour regrouper des organismes partageant des caractéristiques communes.

**Trichome** : Poils qui tapissent la surface d'un organe végétal (en densité variable selon les espèces et les organes considérés).

Une simple écorce de saule a changé l'histoire de la médecine. Il y a plus de 4000 ans, les Sumériens utilisaient déjà des extraits de cet arbre pour soulager la douleur. Hippocrate, père de la médecine, recommandait une infusion de son écorce pour apaiser la fièvre et les douleurs de l'accouchement. Ce n'est qu'au XIX<sup>e</sup> siècle que les scientifiques ont isolé la molécule active, le salicylate, permettant la création de l'aspirine, un médicament que vous avez sans doute chez vous. Ce célèbre antidouleur témoigne de l'immense potentiel thérapeutique du règne végétal. Depuis des millénaires, les plantes sont utilisées pour soigner divers maux et la recherche moderne explore toujours ces ressources naturelles à la découverte de nouveaux traitements. Cependant, la surexploitation des plantes médicinales et les bouleversements climatiques menacent cette précieuse ressource, altérant la biodiversité et la concentration en métabolite secondaire des végétaux.

## Les racines historiques de la médecine végétale

L'utilisation des plantes médicinales remonte aux premières civilisations humaines et s'est transmise de génération en génération. Une étude publiée en 2018 par Abubakar et Haque, spécialistes en pharmacologie, révèle des preuves archéologiques démontrant que les plantes étaient déjà cultivées à des fins médicinales, il y a près de 60 000 ans, dans différentes cultures. Les textes anciens de la médecine chinoise, égyptienne, grecque, perse et européenne contiennent des références détaillées sur leur usage.

Les plantes sont employées sous forme d'infusions, d'huiles essentielles, de cataplasmes ou encore de poudres. C'est ainsi qu'a émergé la pharmacognosie, une discipline scientifique qui s'intéresse aux substances médicinales d'origine naturelle, notamment celles issues du monde végétal. De nombreux médicaments essentiels, comme la morphine ou l'atropine, trouvent leur origine dans les plantes et continuent d'inspirer la recherche pharmaceutique pour la découverte de nouveaux médicaments. Aujourd'hui, leur potentiel thérapeutique suscite un intérêt grandissant dans le milieu scientifique. Cependant, la standardisation de ces médicaments, la validation scientifique de leur efficacité et la préservation des ressources végétales face à la surexploitation constituent des défis majeurs. L'intégration des savoirs traditionnels aux approches modernes pourrait ainsi ouvrir de nouvelles perspectives pour le domaine de la santé.

**Aujourd'hui, environ 80 %  
de la population mondiale ont  
recours aux plantes pour leurs  
soins de santé.**



Crédit image : Göran Bertils de Pexels

## Les plantes médicinales au cœur des traditions autochtones

Depuis des millénaires, les peuples autochtones ont développé des pratiques médicales issues d'une connaissance intime de leur environnement forestier. Aujourd'hui, plus de 500 taxons de plantes médicinales utilisées par les populations autochtones pour traiter une myriade de maladies ont été recensés, selon une étude publiée en 2012 au sein de la Chaire de recherche du Canada en foresterie autochtone par Uprety et collaborateurs. Les coutumes entourant l'utilisation de ces plantes par les peuples autochtones vont bien au-delà des méthodes de préparation, dont les formes les plus communes incluent les infusions, les pâtes et les jus. Plusieurs rituels et cérémonies y sont associés. En signe de respect pour la nature, il est coutume de déposer une offrande, comme du tabac ou du thé, lorsqu'une plante est récoltée.

Presque toutes les espèces dominantes de la forêt boréale sont utilisées dans la médecine autochtone. Ces savoirs traditionnels inspirent la pharmacologie moderne, comme le souligne Vakhtang Mshvildadze, professeur de l'UQAC au département des sciences fondamentales et expert en pharmacognosie et phytochimie, lors d'une entrevue. Il affirme faire couramment appel aux expertises des Premières Nations dans le cadre de ses recherches sur les plantes médicinales. De fait, parmi les espèces utilisées traditionnellement à des fins médicinales, plusieurs, tels que le saule, l'épinette noire ou le sapin baumier, utilisé pour traiter les affections respiratoires, ont été sujets à de nombreuses études phytochimiques. Cependant, le contexte historique entourant les interactions entre les Premières Nations et les populations non autochtones en dissuade certaines de partager leurs savoirs de peur que leurs connaissances soient volées par des compagnies pharmaceutiques privées, sans reconnaissances et compensations appropriées à leur communauté. La gestion responsable et la préservation des milieux naturels couplées à l'enregistrement éthique des savoirs autochtones contribueraient à maintenir cet héritage vivant.

### Pourquoi commander du thé vert dans les cafés près de chez vous ?



Ce breuvage réconfortant provenant d'arbustes comme le *Sinensis* et l'*Assamica* regorge de flavonoïdes. Ces composés antioxydants, que l'on retrouve dans plusieurs fruits et légumes, aident à protéger nos cellules contre les effets néfastes des radicaux libres, ces molécules instables pouvant endommager l'organisme. Ces nutriments jouent un rôle clé dans la défense de notre santé.

Des revues littéraires scientifiques portant sur le thé vert rédigé respectivement par Sabu M Chacko et Mani Iyer Prasanth, présentent de longues listes de bénéfices corrélés à sa consommation. Cette boisson possède notamment des propriétés anti-inflammatoires, anti-cancérigènes et antimicrobiennes. Plusieurs études suggèrent que le thé vert diminue la pression artérielle et permet la prévention de maladies cardiovasculaires. De plus, il pourrait améliorer la sensibilité à l'insuline et ainsi avoir un effet positif sur la régulation du taux de sucre dans le sang. Un autre avantage non négligeable est sa capacité à stimuler nos fonctions cognitives. Par contre, il est important de noter que les bénéfices du thé sont préventifs et que sa consommation ne suffit pas à garantir une bonne santé, mais constitue plutôt une bonne habitude au quotidien. Alors, si vous voyez du thé vert sur les étagères du supermarché, pensez aux bienfaits que ce breuvage pourrait apporter à vous et à votre famille, mais n'oubliez pas qu'il n'y a pas d'aliment miracle !



# Synergie entre tradition et technologie : Les médicaments du futur

Dans le secteur de la santé moderne, l'exploitation des plantes médicinales combine les savoirs traditionnels et les technologies avancées. Le choix des plantes à étudier se fait souvent grâce à la littérature ethnobotanique, qui recense les usages traditionnels des plantes dans différentes cultures. Le professeur Mshvildadze collabore avec les Premières Nations pour identifier des espèces prometteuses, tandis que le professeur Borhane Annabi, titulaire de la Chaire en prévention et traitement du cancer et professeur au département de chimie à l'UQAM, privilégie l'étude de végétaux consommés quotidiennement dans certaines cultures.



Crédit image : Suripphon Singha de Getty Images

Une fois sélectionnées, ces plantes subissent un processus d'extraction et d'isolement de leurs métabolites secondaires. L'extraction permet de séparer les substances bénéfiques contenues dans les plantes pour un usage médical ou expérimental. Selon un article publié en 2020 dans la revue *Journal of Pharmacy And Bioallied Sciences* par Abubakar et Haque, spécialistes en pharmacologie, plusieurs méthodes, comme la macération (trempage prolongé), l'infusion (extraction avec de l'eau chaude), l'extraction Soxhlet (passages répétés d'un solvant chaud) ou l'extraction assistée par ultrasons et micro-ondes (accélération de l'extraction grâce à des ondes ou des vibrations) sont d'usages courants. Par la suite, l'isolement et la purification des composés actifs sont effectués grâce à des techniques de séparation comme la chromatographie. Cette technique consiste à séparer les constituants d'un échantillon en le faisant traverser un milieu. Les molécules n'interagissent pas de la même façon avec le milieu, en raison de leur poids, leur charge et leur polarité par exemple, et certaines se déplacent plus rapidement que d'autres, ce qui permet de les séparer et d'isoler celles ayant un intérêt pharmacologique potentiel. Des tests supplémentaires permettent ensuite d'évaluer les propriétés des molécules isolées.

Selon un article de Chaachouay et Zidane publié en 2024 dans le journal *Drugs and Drug candidates*, les molécules naturelles interagissent mieux avec les systèmes biologiques et ont moins d'effets secondaires que les métabolites de drogues synthétisées en laboratoire. Il est difficile de reproduire exactement ces molécules comme nous explique le professeur Annabi : seules des versions analogues, partageant une structure similaire et certaines propriétés, peuvent être synthétisées. De plus, un extrait végétal contient un ensemble de molécules qui agissent en synergie, alors qu'un médicament synthétique repose souvent sur une seule molécule active, limitant ainsi son spectre d'action.

## Production massive : les nouvelles technologies

Pour produire des médicaments à partir de plantes en grande quantité, on ne se contente plus de les cultiver et d'en extraire les molécules actives. Historiquement, les plantes médicinales étaient cultivées en plein champ, mais cette approche est souvent limitée par des facteurs environnementaux et saisonniers. Aujourd'hui, la biotechnologie permet d'optimiser et de reproduire ces substances de manière plus efficace. Selon un article publié en 2024 par Spence et collaborateurs affiliés au département de biochimie et métabolisme du centre de recherche John Innes, il est désormais possible de copier les gènes des plantes et de les insérer dans des micro-organismes comme des bactéries ou des levures, qui fabriquent alors les molécules en grande quantité. Une autre méthode consiste à modifier temporairement certaines plantes, comme le tabac, pour qu'elles produisent ces composés plus rapidement.

Lekha Sleno, professeure au département de chimie de l'UQAM et experte en analyse métabolomique, souligne que la métabolomique et la chimie analytique avancée sont essentielles pour identifier et purifier ces composés avec précision. La métabolomique permet d'analyser tous les métabolites présents dans un échantillon, aidant à découvrir de nouveaux composés bioactifs et à optimiser les processus de production. Cette technique est aussi utilisée afin de comparer les composés d'une plante dans diverses conditions, ou entre une plante malade et saine. Elle repose notamment sur la spectrométrie de masse, une méthode très sensible permettant de détecter simultanément une grande variété de molécules. En comparant les profils métaboliques selon les conditions environnementales et physiologiques, il devient possible d'identifier les métabolites clés impliqués dans un effet biologique donné.

Cependant, l'experte précise :

« Ce qui marche très bien à petite échelle ne fonctionne pas nécessairement à grande échelle. »





*Crédit image : SJohannes Plenio de Pexels*

## Les métabolites secondaires : une stratégie de défense naturelle

Les plantes produisent une immense variété de molécules essentielles à leur survie. Leur métabolisme primaire est responsable des processus vitaux, tels que la photosynthèse et la production de glucides, de lipides et de protéines. Cependant, elles synthétisent aussi des métabolites secondaires, qui ne sont pas indispensables à leur croissance, mais qui jouent d'importants rôles dans le système de défense des plantes. En effet, ces molécules peuvent aider les plantes à se défendre contre les stress environnementaux, les infections et les prédateurs. Ces composés sont souvent utilisés par l'Homme pour leurs bienfaits thérapeutiques. Parmi ces métabolites, on retrouve notamment les composés phénoliques, les flavonoïdes et les alcaloïdes, comme indiqué dans le bilan sur les plantes médicinales publié en 2006 par Ameenah Gurib-Fakim, affiliée à la faculté des sciences de l'Université de Maurice.

Les composés phénoliques (ou polyphénols) forment un des plus grands groupes de métabolites secondaires, présents dans une multitude de plantes, fruits et légumes. Ils participent à la protection contre les pathogènes chez les plantes et possèdent des propriétés antioxydantes chez l'humain. Ils sont au cœur des recherches sur la prévention contre le cancer du professeur Annabi, qui nous informe que certains de ces composés auraient même la capacité d'inhiber le recrutement de cellules souches dans les tumeurs. Les flavonoïdes sont une sous-catégorie de polyphénols et sont reconnus pour leurs nombreux effets thérapeutiques. Ils donnent leur couleur aux plantes et jouent un rôle dans la défense aux pathogènes et au stress lumineux. Ils possèdent de nombreuses activités pharmacologiques, incluant leurs vertus anti-inflammatoires, antitumorales et immunostimulantes. Finalement, les alcaloïdes sont impliqués dans la défense contre les herbivores et sont largement utilisés en médecine pour leurs puissants effets physiologiques. Parmi les médicaments dérivés d'alcaloïdes les plus connus, on retrouve la morphine aux propriétés analgésiques et la codéine utilisée pour traiter la toux. Ainsi, ces composés secondaires produits par les plantes pour leur propre survie constituent une ressource précieuse pour le secteur de la santé.

## Saviez-vous que la morphine provient d'une plante ?



En effet, ce médicament couramment utilisé dans les hôpitaux est extrait des fleurs de pavot. Cette plante est cultivée à des fins commerciales dans près de quatorze pays. Au Canada, cependant, le pavot à opium n'est pas actuellement cultivé commercialement, mais la morphine et d'autres dérivés de cette plante, comme la codéine et l'oxycodone, sont bien utilisés en médecine. Qu'est-ce qui leur confère une propriété antalgique ? Ce sont des alcaloïdes, des métabolites secondaires présents en abondance dans cette plante. Une fois récoltée, la matière végétale subit un processus d'extraction permettant la fabrication de divers produits pharmaceutiques.

Dans une brochure rédigée par Monica Escher et Catherine Bollondi, travailleuses en soins palliatifs aux Hôpitaux Universitaires de Genève, les raisons de son utilisation ont été mises en avant. Ce médicament peut être prescrit pour soulager les patients après une opération chirurgicale, atténuer les douleurs osseuses ou encore apaiser ceux atteints de cancer. L'Organisation mondiale de la santé le considère d'ailleurs comme un élément essentiel dans le domaine médical. Bien sûr, son usage doit se faire sous strict encadrement médical, en suivant à la lettre les recommandations des médecins et pharmaciens, car il peut entraîner divers effets secondaires.

*Crédit image : Ben\_Kerckx de Pixabay*



## Notre chimiothérapie quotidienne : une métaphore frappante

L'expert Borhane Annabi utilise une métaphore percutante pour illustrer l'importance d'un mode de vie sain : notre chimiothérapie quotidienne. Il promeut le pouvoir de l'activité physique et d'une alimentation équilibrée dans la prévention du cancer. Nos connaissances sur les bienfaits des plantes ne cessent de progresser, mais devrions-nous accorder plus d'attention aux propriétés de leurs fruits et légumes ? Absolument ! Selon la Chaire en prévention et traitement du cancer, ces aliments sont généralement une source précieuse d'agents anticancéreux. En effet, parmi les aliments les plus marquants, la consommation d'ail, de petits fruits, comme la canneberge, et de légumes de la famille des Brassicacées, tels que les choux de Bruxelles, contribuerait à freiner la croissance de micro-foyers tumoraux. Ce sont les polyphénols qui attribuent ces propriétés protectrices à certains fruits et légumes. Bonne nouvelle : tous ces aliments sont facilement accessibles dans nos épiceries, un critère essentiel dans les études chapeautées par M. Annabi. Toutefois, il est important de garder à l'esprit qu'aucun aliment miracle ne peut cibler à lui seul l'ensemble des mécanismes impliqués dans le développement du cancer. Ainsi, un régime alimentaire varié en végétaux demeure la clé d'une bonne santé.



## Les plantes face aux bouleversements climatiques

Le changement climatique est de nos jours l'un des plus grands défis environnementaux. En effet, l'augmentation des niveaux de gaz à effet de serre, en particulier du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), du méthane ( $\text{CH}_4$ ) ainsi que de l'ozone ( $\text{O}_3$ ), occupe un rôle important dans ce phénomène. Ces modifications atmosphériques influencent plusieurs aspects des écosystèmes, notamment la physiologie des plantes. Parmi les effets les plus remarquables figure l'impact sur la production des composés secondaires (alcaloïdes, flavonoïdes et terpènes, etc.).

La préservation de la biodiversité végétale est essentielle pour garantir la résilience des écosystèmes face aux menaces croissantes des changements climatiques ainsi que des agents pathogènes. La hausse des températures favorise la

prolifération des parasites ainsi que des maladies, pouvant mettre en danger la sécurité alimentaire. Ainsi, les plantes, qui ne peuvent se déplacer et qui ne possèdent pas de système immunitaire, se sont adaptées au fil du temps. En effet, afin de se défendre, ils ont développé des mécanismes reposant sur la production de métabolites secondaires. Ces derniers sont emmagasinés principalement dans les trichomes et les conduits de résine permettant de repousser les ravageurs, d'attirer des ennemis naturels de leur prédateur ainsi que d'exercer des effets toxiques sur des agents pathogènes.

Il est donc essentiel de protéger cette biodiversité puisque nous investissons non seulement dans le futur de l'agriculture et de la sécurité alimentaire, mais également dans le futur de la santé des écosystèmes.

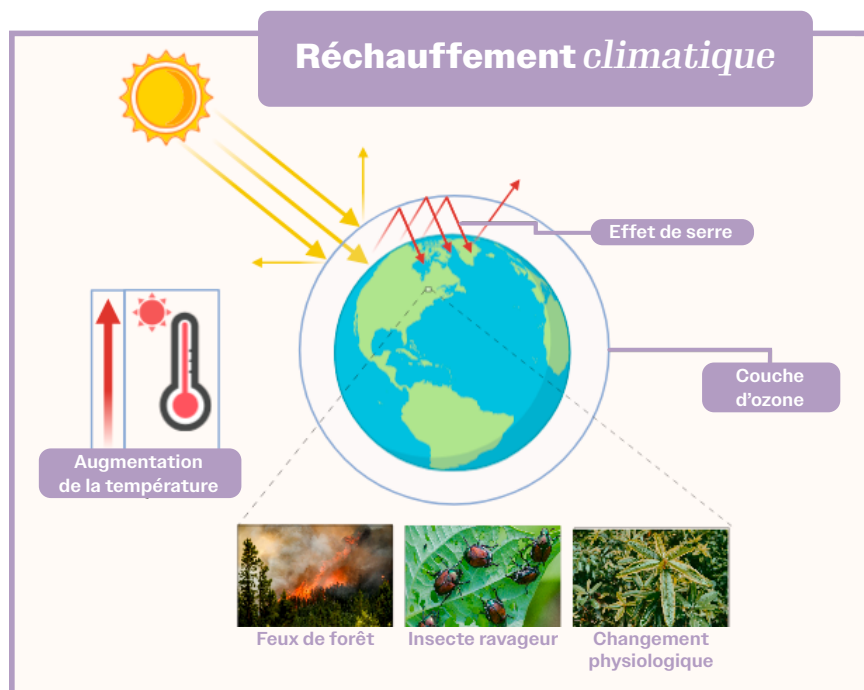
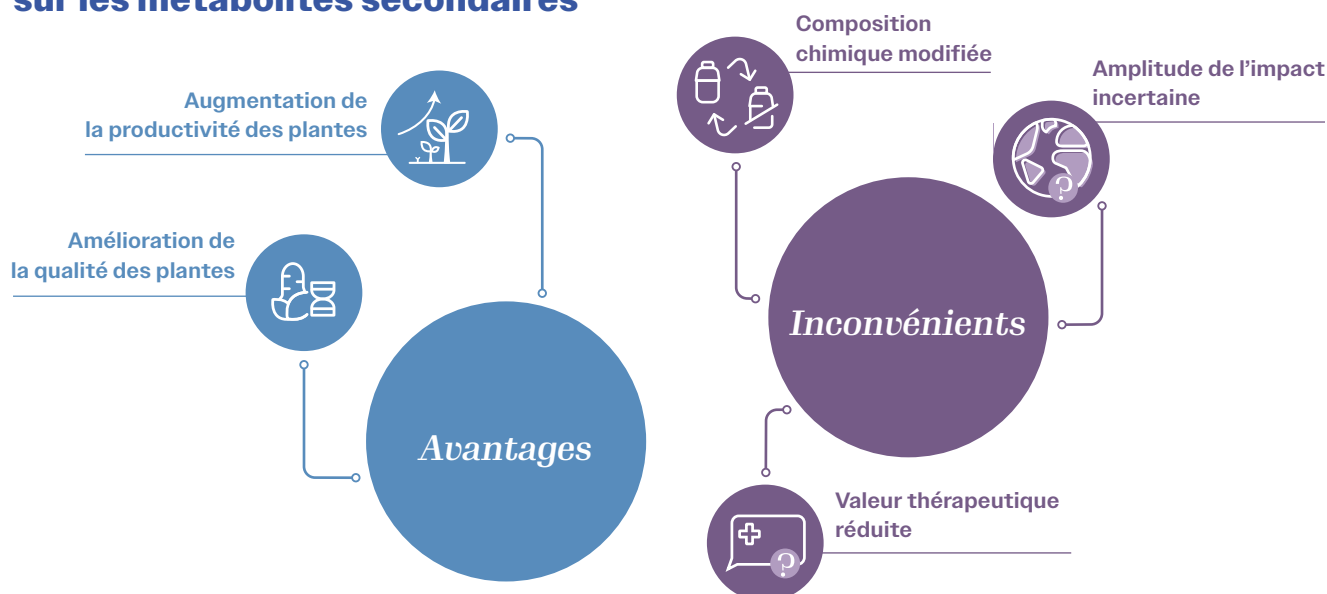


Illustration des impacts du réchauffement climatique sur les écosystèmes.  
Source : Image réalisée par Jérémy Smili, 2025.

Cependant, le réchauffement climatique modifie directement la production de ces métabolites. Effectivement, comme nous fait part le professeur Mshvildadze, les changements climatiques vont influencer la biosynthèse des métabolites secondaires, mais les scientifiques demeurent toutefois incertains de l'amplitude de l'impact de ce phénomène, puisque les effets seront autant à l'échelle quantitative que qualitative. Ainsi, lors d'analyses scientifiques, il y a parfois la possibilité d'obtenir des résultats où apparaissent de tout nouveaux métabolites, en lien avec les changements de conditions d'étude.

## Impact du changement *climatique* sur les métabolites secondaires



En effet, une température plus élevée stimule leur synthèse pouvant engendrer des modifications dans la concentration et la composition chimique des métabolites secondaires végétaux. Cette augmentation de température peut entraîner diverses conséquences, notamment elle peut améliorer la qualité et la productivité de certaines plantes, mais elle peut également modifier leur valeur thérapeutique en altérant la composition chimique de leurs composés. Ainsi, de telles modifications attirent l'attention des industries dépendantes de ces ressources, puisqu'elles pourraient influencer la disponibilité et la qualité des produits dérivés des plantes.

Les composés secondaires de plantes suscitent un intérêt croissant dans la communauté scientifique à travers le monde. La hausse des produits pharmaceutiques d'origine végétale soulève inévitablement la question : le futur de la médecine réside-t-il dans les plantes médicinales ? Contrairement aux molécules de synthèse, les plantes regorgent d'ingrédients actifs, perfectionnés par des millénaires d'évolution. Plutôt que de chercher à tout recréer en laboratoire, peut-être est-il temps d'accorder plus de confiance à ce que la nature met à notre disposition. En effet, un article écrit par J. Ozer du département de microbiologie de l'Université de Negev, confère des propriétés anti-inflammatoires à une plante herbacée aquatique nommée *Nuphar lutea*. Alors, avons-nous exploré toutes les possibilités qu'offre notre planète ? Peut-être même que nous devons plonger dans les profondeurs de nos océans pour continuer à découvrir ce que le monde végétal peut offrir !

Crédit image : Y. Martin de INPN



Par Catherine Bérubé,  
Jeffrey Killeen,  
Anne-Justine Saindon  
et Jacob Trudel

# **Zombies** *fongiques :* **le piège** *biologiques*





Adapté de Lin et al. (2020) et de Romano (2023)

*Le concept de zombie, considéré comme une pure création fictive popularisée par de nombreux films, séries et jeux vidéo d'horreur, trouve un ancrage inattendu dans la nature. La série The Last of Us explore la zombification en s'inspirant d'un phénomène réel et terrifiant : l'infection par le champignon parasite Ophiocordyceps, connu pour manipuler le comportement des fourmis afin d'optimiser sa propre propagation. Les principes du parasitisme, ainsi que cette capacité unique à utiliser les insectes comme de simples marionnettes, seront explorés dans cet article, passant par l'infection de la fourmi, le syndrome du sommet, la manipulation jusqu'au crescendo de son dernier souffle.*

Dans l'ombre du sous-bois, un petit insecte avance, inconscient de la menace qui se dissimule dans l'air qu'il respire. Des spores de champignon parasite s'introduisent malicieusement en lui. Lentement, ceux-ci commencent à germer en envahissant son corps, le réduisant en esclave infectieux. Chacun de ses pas, de ses mouvements et de ses décisions lui est étranger. Pourtant, comme un zombie, une force qui consomme la fourmi la pousse dans une direction qui n'a rien d'aléatoire. Il connaît le chemin. Qui ? Celui qui la poussera à grimper sur une feuille pour la métamorphoser en épatante monstruosité : moitié fourmi, moitié champignon. La mort sordide de cette fourmi et des prochaines qui passeront par ce chemin sera également le triomphe du parasite et le commencement d'un nouveau cycle d'infection.

## Interactions biologiques

Lorsqu'on considère les divers types d'interactions biologiques qui se produisent au sein d'un écosystème, certaines relations sont particulièrement mieux connues. D'une part, il y a la prédation où une espèce, le prédateur, tue et consomme une autre espèce, la proie. D'autre part, il y a le mutualisme où plusieurs espèces s'associent, chacune tirant un bénéfice évolutif. Bien que ces relations plutôt populaires ne soient certainement pas à négliger et sont d'une importance incontestable, une forme d'interaction discrète, mais tout aussi prédominante se déroule sous nos yeux, voire même à l'intérieur de notre propre corps : **le parasitisme** ! Ce type d'interaction est beaucoup plus subtile que les deux mentionnés précédemment et opère typiquement à l'abri des regards. Pourtant, comme l'a souligné le professeur Jacques Brodeur, expert en parasitisme et en lutte biologique, lors de notre rencontre, les parasites et les parasitoïdes sont omniprésents et sont parmi les groupes d'organismes les plus importants au monde. Mais, en fait, c'est quoi exactement un parasite ?

## Parasitisme

Le terme « parasite » désigne un organisme qui vit sur ou à l'intérieur d'un autre, dont il dépend pour sa survie et auquel il soutire des nutriments, sans nécessairement entraîner sa mort. Les parasitoïdes, quant à eux, sont un autre groupe d'organismes qui emploie une stratégie plus macabre où la larve d'un insecte se nourrit de l'hôte, entraînant inévitablement sa mort. Lorsque l'on pense à un parasite, il est facile d'imaginer des bactéries virulentes, des tiques sanguinaires ou encore de minuscules vers dégoûtants. Pourtant, les parasites incluent des organismes parfois surprenants, comme certaines plantes et champignons ! Les parasites peuvent employer une panoplie de différentes stratégies pour exploiter leur hôte et assurer leur propagation. Certains d'entre eux sont des castrateurs, empêchant la capacité de reproduction de leur hôte et utilisant cette énergie pour leur propre survie. D'autres se déplacent d'un individu à un autre par l'entremise d'un animal dit « vecteur », agissant comme média de transmission sans forcément se faire infecter lui-même.

## Neuroparasitisme : L'art du contrôle

Un type de parasite particulièrement intéressant, ayant eu un grand impact sur la culture populaire, est le **neuroparasite**. Celui-ci fait preuve d'une habileté exceptionnelle, étant capable d'altérer le comportement de son hôte et de manipuler sa prise de décisions pour son propre bénéfice. L'apparition de ce phénomène complexe n'a probablement pas évolué par simple hasard. En effet, il est bien connu que, lorsque ces parasites poussent leur hôte à adopter certains comportements inhabituels, cela augmente leurs chances de se reproduire, ce qui est favorisé par la sélection naturelle avec le temps. Les organismes ayant cette capacité impressionnante sont d'une immense diversité, allant de virus microscopiques, de champignons insoupçonnés jusqu'à des guêpes intimidantes. À titre d'exemple, *Dinocampus coccinellae* est un type de guêpe parasitoïde qui infecte les coccinelles. La larve de la guêpe se nourrit de son hôte et se développe sous son corps, utilisant ce dernier comme coquille protectrice. Le ver plat *Leucochloridium paradoxum* infecte plutôt les escargots. Il migre vers leurs yeux et fait pulser son corps de parasite, attirant des oiseaux pour augmenter ses chances d'être consommé et propagé. Ici, nous nous penchons sur un autre type de neuroparasite, pouvant induire des changements dramatiques et fascinants au niveau du comportement de son hôte, n'ayant pas l'allure d'un parasite typique : le champignon *Ophiocordyceps unilateralis* au sens large (S.L.).

## Préambule : Ophiocordyceps

L'infection des fourmis par *Ophiocordyceps* se déroule à plusieurs endroits sur la planète, plus particulièrement dans des pays au climat chaud et humide, comme dans les forêts tropicales du Brésil, de la Thaïlande et même au Japon. Ainsi, l'histoire de la fascinante interaction entre le champignon parasite *Ophiocordyceps unilateralis* ainsi que son hôte, la fourmi de la tribu Camponotini, est développée ci-dessous. Selon un article de Fernando Sarti Andriolli en 2019, chacune des espèces de *Ophiocordyceps*, opposée aux parasites plus généralistes, est très spécifique à leur espèce de fourmi.

## Insouciance dangereuse

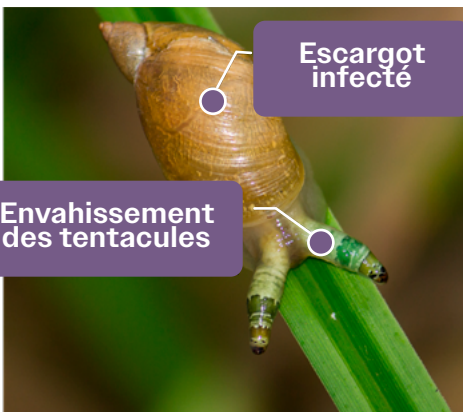
Dans la canopée luxuriante de la forêt tropicale, la vie suit un cycle bien régulé. Alors que le reste de la colonie quitte rarement l'habitat chaud et sec où se trouve leur nid, chaque nuit, quelques fourmis ouvrières quittent à la recherche de nourriture. En descendant vers le sous-bois humide, une ouvrière s'assure de suivre les sentiers de phéromones qu'elle emprunte régulièrement depuis des semaines. D'après une étude publiée en 2011 par le chercheur David P. Hughes, ces chemins lui permettent de s'orienter et d'éviter la plupart des dangers invisibles de la forêt tropicale (1). Sans le savoir, en s'aventurant loin de sa colonie, elle devient vulnérable aux microscopiques spores d'un champignon parasite mortel en suspension dans l'air. Lentement, une spore fongique d'*Ophiocordyceps unilateralis* se dépose sur l'exosquelette de la fourmi, s'y attache et pénètre son corps (2). La façon dont la spore parvient à traverser cet obstacle demeure encore inconnue à ce jour. Toutefois, tel qu'expliqué dans une revue de littérature rédigée en 2024 par van Roosmalen et de Bekker, il est possible que ceci soit dû à des enzymes de dégradation puissantes, telles que des chitinases, ou encore via des structures d'infection spécialisées capables d'exercer une pression impressionnante sur cette couche rigide afin de la percer. La spore de champignon commence alors à germer en elle, condamnant son destin. Pourtant, à ce stade, la fourmi semble toujours en parfaite santé.

*Dinocampus coccinellæ*



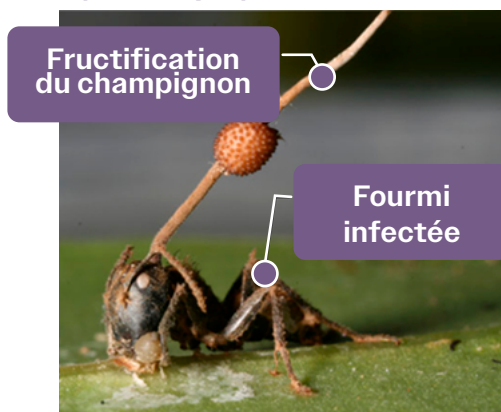
Adapté de Weiler (2015)

*Leucochloridium paradoxum*



Adapté de Stas et Lana (2015)

*Ophiocordyceps unilateralis*



Adapté de Black (2010)



## Marionnettiste

Une quinzaine de jours se sont écoulés depuis l'infection initiale. La fourmi, autrefois méticuleuse dans ses mouvements, commence à présenter des symptômes inquiétants : mouvements erratiques, perte de coordination, tremblements et convulsions (3). Selon l'article de van Roosmalen et de Bekker, ces symptômes pourraient être expliqués par l'activation d'un groupe de gènes spécifique chez le mycète lors de la manipulation de son hôte. Ces gènes sont responsables de la production d'un composé similaire à l'aflatoxine, une toxine puissante sécrétée par d'autres groupes de mycètes, interférant avec la signalisation neuronale. Pourtant, ce n'est que le début de la croissance fongique. Le champignon prolifère et parasite maintenant la majeure partie du corps de la fourmi sous forme d'**hyphes**, des filaments microscopiques infiltrant ses tissus. Désormais active jour et nuit, la fourmi perd complètement son rythme naturel nocturne (4). Selon Joanna Dopp, postdoctorante étudiant les modifications du cycle d'activité chez les fourmis infectées, les colonies de fourmis possèdent une grande souplesse dans leur cycle d'activité et de repos. Autrement dit, les fourmis n'ont pas toutes le même horaire d'activité, cela varie selon leur rôle dans la colonie, ce qui permet un bon fonctionnement du groupe. Bien que cette capacité d'adaptation soit utile pour une fourmi en santé, elle devient une faiblesse lorsqu'elle est infectée par le champignon *Ophiocordyceps*. Ce dernier en profite pour manipuler plus facilement l'activité de la fourmi en réduisant au silence le gène central de l'horloge biologique et d'autres gènes associés. Finalement, dû à la diminution de sa capacité sensorielle, la fourmi s'égare non loin du sentier sécuritaire, menée par une volonté qui n'est pas la sienne, l'attirant impitoyablement vers l'inconnu (5).

### Parasites...

#### Piliers de la nature !

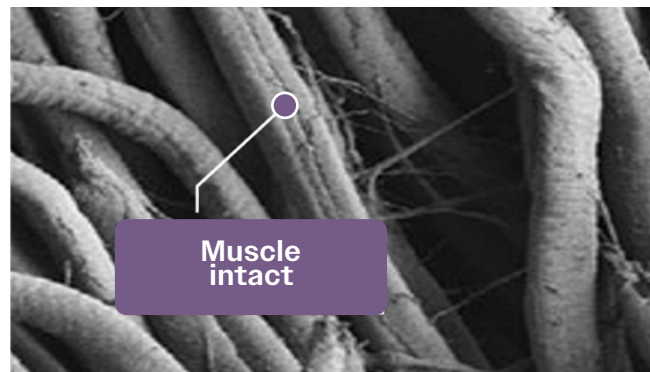
Lors d'un échange avec le spécialiste Jacques Brodeur, il a souligné un point fondamental : les parasites, en dépit de leur réputation, jouent un rôle écologique crucial sous-estimé. Les parasites contrôlent les populations hôtes et empêchent leurs proliférations excessives, évitant des déséquilibres écosystémiques. Ils influencent également la distribution des espèces : les hôtes tentent d'échapper à l'infection, entraînant leur dispersion et migration. Selon lui, ce phénomène pourrait même avoir contribué à l'exode des premiers humains hors d'Afrique !

Loin d'être de simples fléaux, ces organismes sont des forces évolutives majeures, des architectes invisibles façonnant la biodiversité et les dynamiques écologiques de notre planète.

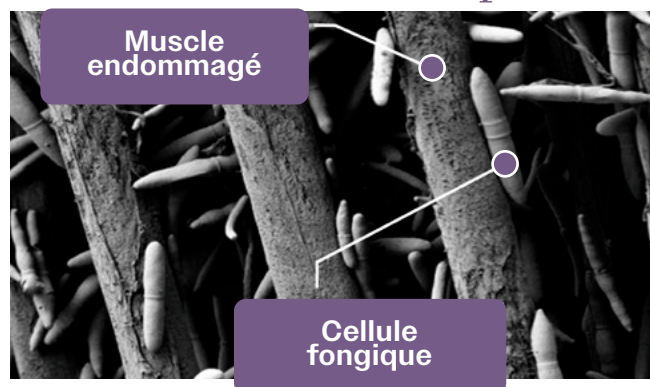
## L'ascension

Cinq jours plus tard, la fourmi n'est plus qu'une marionnette à la recherche d'un endroit favorable pour la reproduction de son oppresseur. Errant de manière chaotique, elle entame son ascension finale (6). Au moment où le soleil est à son plus haut et que les conditions garantissent un microclimat stable, elle grimpe sur un jeune plant se rendant à une hauteur spécifique. Comme l'affirment les chercheurs van Roosmalen et de Bekker, l'ascension mortelle, appelée le « syndrome du sommet », est probablement associée à la manipulation de plusieurs voies moléculaires par le parasite. Premièrement, le champignon infectieux semble augmenter sa propre expression d'une protéine nommée PTP lors de l'infection. Cette dernière pourrait ensuite interagir avec les protéines de la fourmi, perturbant les niveaux de divers neurotransmetteurs et hormones et provoquant l'ascension de la fourmi. Deuxièmement, ce comportement pourrait aussi résulter de la capacité du champignon à modifier et bouleverser l'expression de l'hormone juvénile (JH), qui est responsable de la régulation de plusieurs aspects physiologiques et comportementaux chez les fourmis. Troisièmement, en plus de prendre le contrôle de différentes voies moléculaires de son hôte, le champignon parasite aurait recours à plusieurs types de toxines pouvant avoir une panoplie d'effets sur sa victime, tels que la modification de la perception de la lumière et des odeurs ou même la réponse au stress.

### Muscles mandibulaires sains



### Muscles mandibulaires parasités

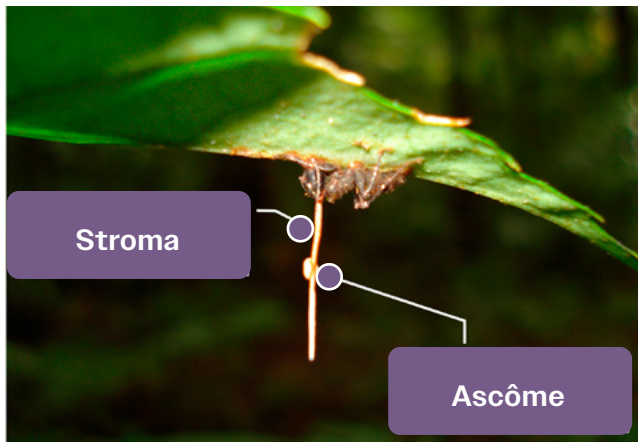




## L'emprise mortelle : un meurtre prémédité

En grimpant de plus en plus haut à travers la végétation, la fourmi trouve finalement une feuille située dans une zone parfaitement humide et lumineuse, à proximité de son ancienne colonie — garantissant ainsi un maximum d'infections futures. Autour d'elle, d'autres cadavres témoignent de la répétition implacable du cycle : un cimetière de fourmis zombifiées (7). Dans un ultime spasme, elle s'accroche à la nervure centrale de la feuille, refermant ses mandibules avec une force sur-naturelle, provoquant le *death grip*, soit l'emprise mortelle (8) ! La contraction des muscles mandibulaires de la fourmi pourrait être induite via un mécanisme invasif du champignon. Selon une étude publiée en 2019 par la chercheuse postdoctorante Colleen Mangold, celui-ci attaquerait directement les muscles et s'emparerait de ces derniers, les endommageant afin de provoquer la contraction sans toucher le système

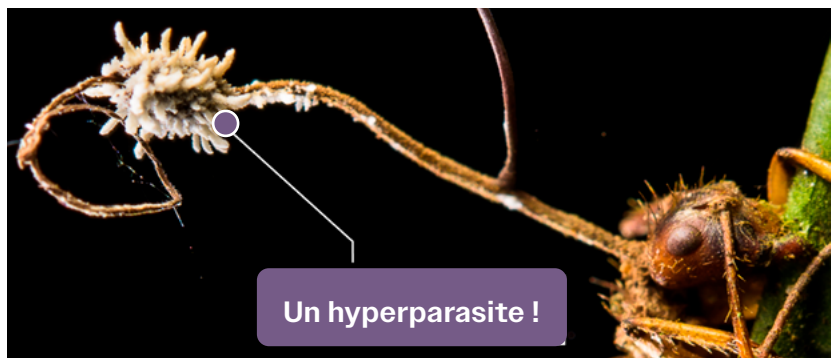
nerveux de la fourmi. De plus, *Ophiocordyceps* produit certaines toxines qui augmentent la sécrétion de composés, tels que la sphingomyélinase acide, ce qui affaiblit les muscles de la fourmi, menant ainsi à l'emprise mortelle et scellant son destin. Selon l'article de Watson et McNeill, 2024, son corps devient le support du champignon, qui prend 4 jours avant de le consommer entièrement. Puis, un **stroma** commence à émerger à l'arrière de sa tête sous la forme d'une tige (9). Quatre semaines plus tard, celle-ci portera un **ascôme**, l'organe reproducteur du champignon contenant des spores infectieuses (10). Lorsque les conditions sont optimales, l'ascôme mature se déchire, libérant une masse de spores, tombant sur les fourmis passant en dessous (11). Comme une neige fongique, elles se déposent sur de nouvelles victimes, prêtes à répéter le cycle mortel d'infection.



Adapté de Pontoppidan et al. (2009)

## Le maître des manipulateurs

Cependant, *Ophiocordyceps* n'est pas invincible. Autour du vestige dénaturé de l'ouvrière, d'autres espèces de champignons, comme celles du genre *Niveomyces*, considérées comme des hyperparasites, peuvent attaquer *Ophiocordyceps* et le castrer avant qu'il ne libère ses spores (12). Comme quoi, même dans la mort, certaines de ses consœurs ont obtenu une ultime revanche : leur bourreau meurt à son tour, incapable de perpétuer son cycle.



Adapté de Biggi. (2017)



## Frontière entre mythe et réalité

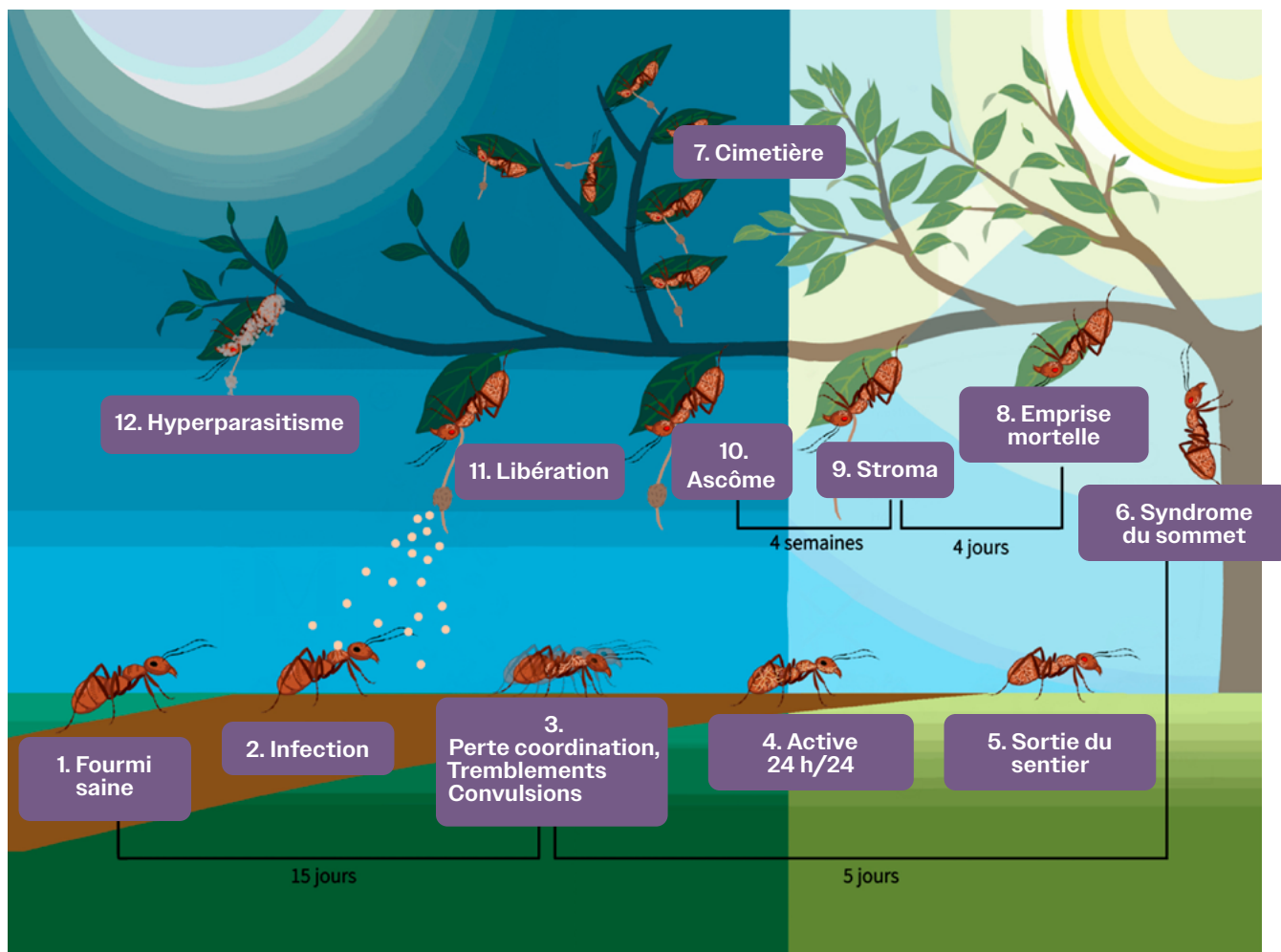
Entre la science et l'imaginaire, plusieurs idées controversées continuent d'être démythifiées. Dans la série et le célèbre jeu vidéo *The Last of Us*, un monde dystopique est exploré où l'humanité a été décimée après la mutation d'un champignon parasite qui infecte les humains : *Ophiocordyceps*. Pourtant, ce scénario est-il plausible ? La réponse demande de retourner au fondement même du parasitisme. Comme vous le savez maintenant, le champignon infecte les fourmis en prenant contrôle de leur corps. Or, dans la série de fiction, celui-ci a muté pour s'adapter aux changements climatiques. En augmentant sa tolérance aux températures élevées, il a développé la capacité d'infecter les hôtes aux températures internes plus chaudes, c'est-à-dire les humains ! Ainsi, selon Charissa de Bekker, experte en parasitisme fongique, la hausse des températures augmentera effectivement les infections par les champignons chez les humains. Par contre, selon l'experte, décimer l'humanité entière n'est pas une bonne stratégie pour un parasite. En anéantissant la plupart des hôtes, à l'image de *The Last of Us*, il n'y aurait plus d'individus à infecter, ce qui condamnerait à son tour l'existence du parasite. Il n'est donc pas possible que cette situation survienne. Mais ce n'est pas tout ! La relation entre *Ophiocordyceps* et la fourmi, dont la série est inspirée, est hautement spécifique puisqu'elle a été façonnée par la coévolution, c'est-à-dire l'évolution simultanée des deux espèces. La relation peut être retracée à l'époque de l'Éocène il y a 56 à 34 millions d'années. Ainsi, le champignon parasite de cette coévolution ancestrale et spécifique ne pourrait pas, du jour au lendemain, sauter d'un hôte fourmi à un hôte *homo sapiens*. Finalement, selon Jacques Brodeur, l'humanité est parfaitement préparée pour se défendre contre les champignons, et il est hautement improbable que nous puissions être infectés d'une telle manière.

## Conclusion

Bien que l'influence des champignons neuroparasites sur nos actions et nos pensées ne semble pas représenter une véritable menace pour l'instant, il pourrait toutefois être possible que nous ne soyons pas entièrement à l'abri de phénomènes similaires. *Toxoplasma gondii* est un parasite qui s'attaque à nos chats domestiques et qui peut utiliser l'humain comme hôte intermédiaire. Selon les connaissances actuelles, une personne sur trois serait infectée par ce parasite. Comme en témoigne le professeur Jacques Brodeur, il existe de plus en plus de preuves comme quoi ce parasite est responsable d'un réel changement de comportement chez les hôtes infectés. Des études commencent même à tisser un lien entre ce parasite et plusieurs troubles, telles que la schizophrénie, les pensées suicidaires ou encore même la rage au volant !

***Finalement, à quel point pouvons-nous être certains que nos pensées sont entièrement les nôtres ?***





## Un monde nouveau

À travers le temps et les progrès scientifiques, il est clair qu'une énorme quantité de mécanismes, de processus et de créatures sur cette planète restent encore à découvrir. *Ophiocordyceps* symbolise bien l'immense biodiversité potentielle des pathogènes manipulateurs de comportement qui continue encore d'être explorée. En effet, le champignon ne se limite pas aux fourmis ; plus de 230 espèces d'*Ophiocordyceps* infectent des insectes de toutes sortes, comme des blattes, des mouches, des sauterelles, des guêpes, des papillons, des phasmes et bien d'autres. Dans une perspective plus large, de nouvelles espèces de champignons pathogènes sont encore découvertes à ce jour. En effet, une étude toute récente, menée en 2025 par Evans et ses collègues, révèle qu'un nouveau champignon parasite manipulateur de comportement, *Gibellula attenboroughii*, inspiré du nom du célèbre naturaliste David Attenborough, a été découvert. Ce champignon a été retrouvé en Irlande, parasitant une araignée (*Metellina merianæ*) pendant le tournage d'un documentaire britannique (BBC) en 2021. Celle-ci avait été découverte morte sur le plafond d'un ancien magasin de poudre à canon, dans un endroit exposé et contre-intuitif pour ce type d'araignée. Bref, la nature révèle aux scientifiques l'étendue de leur ignorance et les secrets qui restent encore à découvrir !

Émily Ducharme

*Biologie moléculaire & cellulaire*

Olivier Chaput

*Biologie moléculaire & cellulaire*

Nour Decae

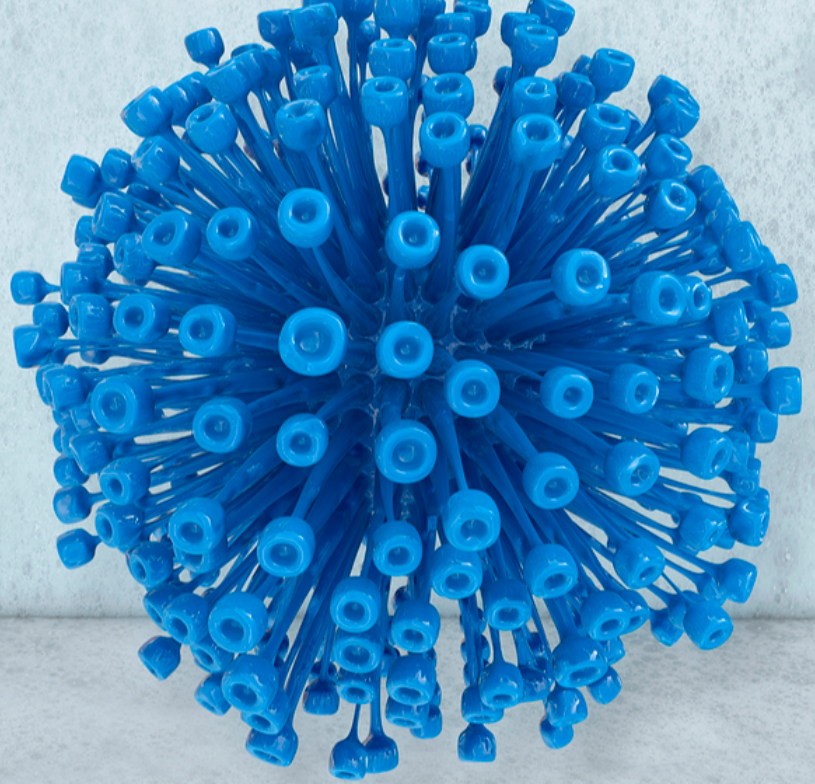
*Biologie moléculaire & cellulaire*

Bianca Tran

*Écologie*

**De pathogène  
à *allié*...**  
**quand *l'évolution*  
recycle des virus**





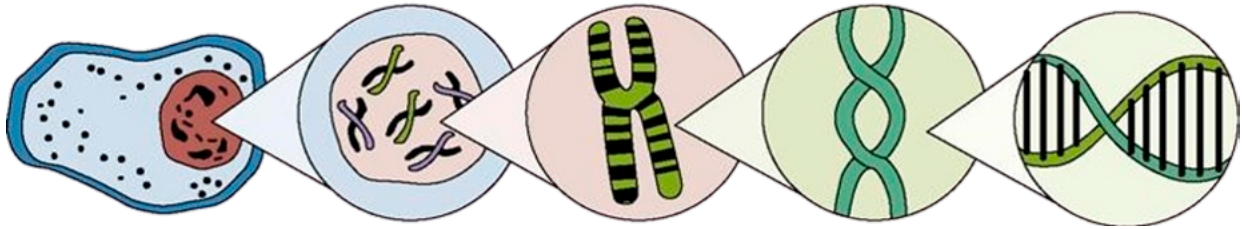
Structure typique d'un rétrovirus.  
Crédit image : Université Oxford

*Depuis des millions d'années, des infections virales ont laissé des empreintes dans le génome des mammifères, laissant derrière eux des fragments d'ADN viral transmis de génération en génération. Ces rétrovirus endogènes, loin d'être de simples reliques, ont influencé des aspects majeurs de notre évolution, comme l'apparition du placenta. Mais leur héritage n'est pas uniquement bénéfique : certains sont impliqués dans des maladies. Comprendre leur rôle, c'est mieux saisir comment les interactions entre virus et hôtes ont façonné le vivant et continuent d'influencer notre biologie aujourd'hui.*

*Si on vous disait qu'environ 8 % de votre génome est constitué d'ADN viral pris au piège dans vos cellules, est-ce que vous le croyez ? Pourtant, c'est bien réel ! Embarquez aujourd'hui dans cette aventure : remontons ensemble l'histoire des rétrovirus endogènes, et découvrons comment un pathogène devient notre allié.*

# Les gènes au cœur de l'évolution

Avant toute chose, c'est quoi un génome ? Le génome, c'est un peu comme un livre magique qui nous explique comment on fonctionne. Chaque cellule de notre corps contient une copie de cet ADN, qui est composé de gènes. Ces gènes sont des séquences particulières d'ADN qui déterminent nos traits physiques, comme la couleur de nos yeux, ou encore certaines de nos capacités.



## D'où proviennent les gènes ?

Dans le noyau de nos cellules, nos chromosomes sont des grosses molécules d'ADN. Les gènes sont des régions d'ADN qui peuvent être traduits et former les protéines nécessaires pour définir nos caractéristiques.

Crédit image : EuropeanCancer Moonshot Lund CenterStructure

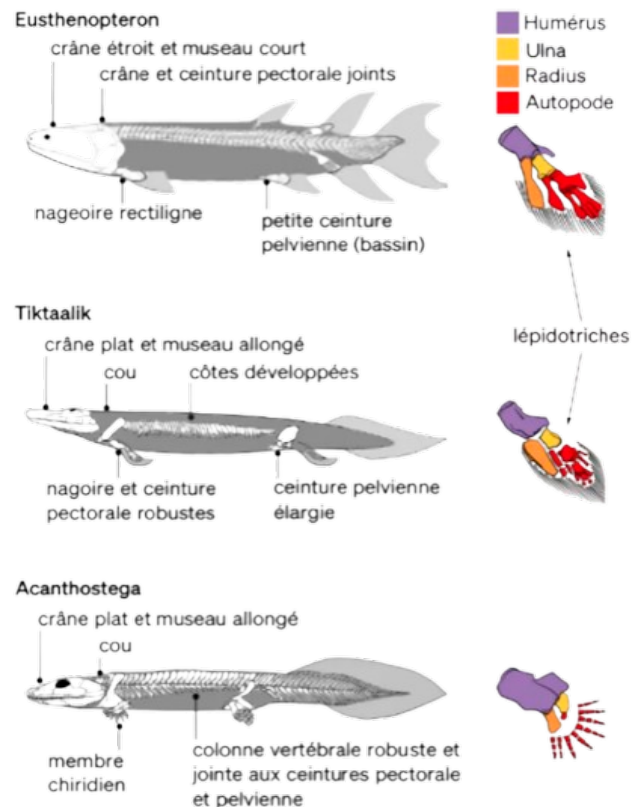
Parfois, ce code peut commettre des erreurs, comme des fautes de frappe, qu'on appelle des mutations. Ces mutations peuvent avoir des répercussions variées : elles peuvent être neutres et sans conséquence, ou entraîner des effets plus graves, comme des maladies génétiques. Mais parfois, elles apportent de nouvelles caractéristiques bénéfiques pour l'individu. Ces erreurs dans le code génétique sont des événements clés à la base de l'évolution. Elles génèrent de nouvelles caractéristiques qui peuvent être transmises de génération en génération.

L'évolution n'est pas seulement influencée par les mutations, elle repose sur plusieurs mécanismes. C'est en fait souvent un ensemble de forces qui détermine l'évolution d'une espèce. Un des principes fondamentaux de l'évolution est la sélection naturelle, tout d'abord mis en lumière par le célèbre Darwin. Les individus les mieux adaptés à leur environnement ont plus de chances de survivre et de se reproduire, transmettant ainsi leurs caractéristiques avantageuses à leurs descendants. C'est en partie grâce à ces processus que nous pouvons observer la diversité incroyable des formes de vie sur Terre, chacune ayant évolué pour répondre aux défis de son environnement.

**« C'est en fait souvent un ensemble de forces qui détermine l'évolution d'une espèce. »**

Il faut se rappeler qu'il y a environ 400 millions d'années, les animaux vivaient sous l'eau. Certains d'entre eux, appelés Sarcoptérygiens, ont développé des pattes et des poumons, leur permettant d'explorer le milieu terrestre. Ces poissons sont les ancêtres des premiers amphibiens, qui ont évolué pour vivre à la fois dans l'eau et sur Terre.

Au fil du temps, certains amphibiens se sont spécifiés pour donner lieu à différents groupes, comme les reptiles, et ensuite, les mammifères. Basées sur la formation des dents, les premières traces de mammifères remontent à l'époque des dinosaures ! Les mammifères ont progressivement évolué, donnant naissance à de nombreuses espèces, dont les humains.



Aperçu des os de pattes des poissons qui ont permis la transition des animaux aquatiques à la vie terrestre à l'époque Dévonienne.

Crédit image : H. Dutel, repris par l'AFDEC

Ce passage de la vie aquatique à la vie terrestre est l'un des stades majeurs de l'évolution dans l'histoire de la vie animale. Ce que peu de gens savent, c'est qu'au cœur de ces changements évolutifs, des éléments inattendus ont joué un rôle très important pour les mammifères : les virus ! Ces virus anciens au cours de l'évolution ont pu intégrer leur matériel génétique dans celui de certaines espèces, y compris les humains. Ces insertions ont mené entre autres à l'apparition d'un organe vital pour les mammifères ; le placenta.



Illustration théorique du premier mammifère sur Terre connu, le *Brasilodon quadrangulatus*.

Crédit image : Anatomical Society / Wiley

## Un rétrovirus endogène... qu'est-ce que c'est ?

Dans leur forme la plus simple, les virus sont du matériel génétique emballé dans une capsule qui porte le nom de capsid, entouré ou non d'une membrane que l'on nomme enveloppe. Parasite obligatoire, leur cycle de réplication repose sur l'infection d'un hôte afin de détourner la machinerie de celui-ci à son avantage et se répliquer. Il existe deux cycles de réplication : le cycle lytique, qui résulte en la mort de la cellule qui se lyse (« explose » de l'intérieur) dû à l'accumulation de particules virales, et le cycle lysogénique, qui repose sur une intégration du génome viral au génome de l'hôte. Lorsqu'il est question de rétrovirus, le cycle lysogénique est d'un intérêt particulier.

Les rétrovirus sont une classe à part de virus à ARN dont la stratégie de réplication les sépare des autres virus. En effet, un rétrovirus porte sur son génome les gènes lui permettant de s'intégrer à l'ADN de l'hôte, puis de s'en retirer le moment voulu. Pour ce faire, le rétrovirus contient une protéine, la rétrotranscriptase, qui transforme son ARN simple brin en ADN double brin. Pour s'intégrer au génome de l'hôte, il repose sur une autre protéine : l'intégrase.

### Pour approfondir...

#### Exemple connu de rétrovirus : le VIH

Un exemple typique de rétrovirus passant du cycle lytique au cycle lysogénique est le virus de l'immunodéficience humaine (VIH), qui induit le syndrome de l'immunodéficience acquise (SIDA). Le VIH peut rester dormant des années à l'intérieur des cellules du système immunitaire ; mais un jour, le virus peut passer de sa forme lysogénique à sa forme lytique, détruisant alors les cellules du système immunitaire et rendant le patient immunodéficient.

Advenant des événements de mutation sur les séquences codantes de ses gènes, le rétrovirus peut perdre sa capacité de se répliquer et de mener à la lyse de la cellule. Ce faisant, il reste pris dans le génome de la cellule hôte, normalement voué à disparaître.

Cependant, chez les organismes à reproduction sexuée, si un tel événement d'insertion et de mutation a lieu dans une cellule germinale (cellules dont sont issus les gamètes), l'ADN viral pris au piège sera transmis à la progéniture, débutant alors un cycle de transmission générationnelle du rétrovirus pris au piège. C'est ce qu'on appelle un rétrovirus endogène (ERV). En séquestrant petit à petit des rétrovirus de la sorte au fil de son évolution, l'être humain a un génome qui est constitué à 8 % de rétrovirus endogènes humains (HERV). La majorité des HERV passent inaperçus, étant rapidement mis sous silence par les mécanismes moléculaires de la cellule. Cependant, certains d'entre eux ont façonné notre espèce d'une manière inattendue.

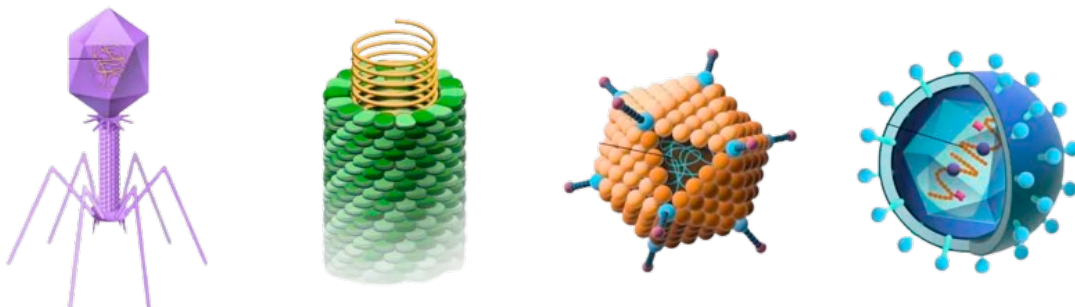


Illustration de quatre différents types de structures virales.

De gauche à droite : un bactériophage (virus à bactérie) ; virus du tabac ; adénovirus ; virus de l'influenza.

Crédit image : Vajiram & Ravi, institute for AIS examination



# Les rétrovirus endogènes : passagers dormants ou perturbateurs actifs ?

Les ERV peuvent être comparés à des virus fossilisés dans notre ADN. La plupart du temps, ils sont inactifs, bloqués par des mécanismes épigénétiques (modifications de la condensation de la molécule d'ADN, empêchant l'expression des gènes). Mais parfois, ils peuvent se réactiver ou interagir avec nos gènes de façon plus subtile.

L'un des mécanismes les mieux documentés est leur insertion dans des séquences codantes, ce qui peut provoquer des mutations. Par exemple, si un ERV s'insère dans un gène essentiel, cela peut entraîner une perte de fonction : la protéine normalement produite sera altérée ou absente, ce qui peut avoir des conséquences importantes sur l'organisme.

Un autre effet bien connu des ERV est leur influence sur l'expression des gènes. Grâce à leurs longues séquences terminales répétées (LTR), ils peuvent agir comme des régulateurs transcriptionnels, augmentant ou diminuant l'activité des gènes voisins et modifiant ainsi certains processus biologiques.



Dans la majorité des cas, les ERV restent silencieux, intégrés dans ce que l'on appelait autrefois l'« ADN poubelle », qui représente environ 98 % de notre génome. Ce terme, aujourd'hui largement critiqué par les scientifiques, représente l'ensemble des segments d'ADN qui ne codent pas pour des protéines. Ce n'est que très récemment que la communauté scientifique a commencé à démystifier l'importance de cet ADN, notamment dans la régulation génétique.

Et parfois, ces anciens virus conservent des séquences fonctionnelles et produisent des protéines. Les gènes autrefois responsables de la production de protéines virales, comme l'enveloppe (gène env), ont pu être préservés au fil de l'évolution et détournés pour d'autres fonctions, avec des effets pouvant être à la fois bénéfiques ou délétères. C'est notamment ce qui a permis une adaptation évolutive des plus importantes pour les mammifères : le placenta !

## Le saviez-vous ?

Le gène d'enveloppe virale du HERV-K code deux variantes de protéines démontrées comme étant oncogènes chez l'humain. En effet, les cellules cancéreuses démontrent une dérégulation épigénétique, menant à l'expression de ces gènes, normalement mis au silence par les mécanismes épigénétiques normaux dans les cellules saines. On pourrait croire que la sélection naturelle aurait fait en sorte que ces gènes rétroviraux ne soient pas conservés au travers de notre évolution.

*Chose certaine :*

l'évolution n'est pas à l'abri des erreurs !

## Le placenta : une incroyable innovation née des rétrovirus !

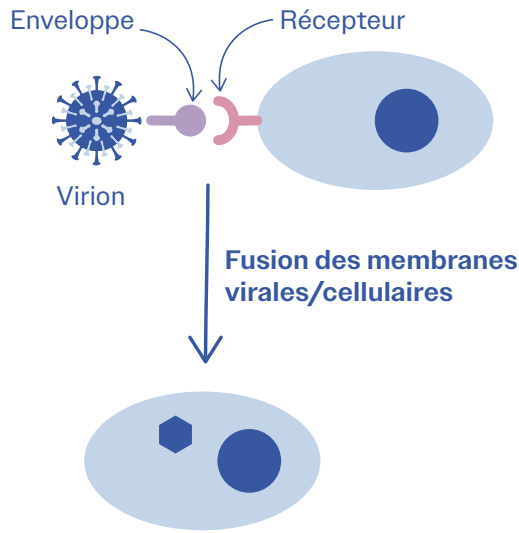
Le placenta est une structure clé qui a permis aux mammifères de se diversifier et de conquérir de nombreux environnements. Son évolution résulte d'un processus graduel au cours duquel des innovations cellulaires et génétiques ont amélioré la protection et l'alimentation du fœtus. À l'origine, les ancêtres des mammifères étaient ovipares, pondant des œufs comme les reptiles. Progressivement, certaines espèces ont évolué vers la viviparité, où l'embryon se développe à l'intérieur du corps maternel, favorisant une meilleure survie des petits.

Un élément central de l'évolution de la placentation a été l'adhésion du trophoblaste à l'endomètre (muqueuse utérine), favorisant des échanges de plus en plus efficaces entre la mère et l'embryon. Cette adhésion est facilitée par la fusion des cellules trophoblastiques, un processus clé dans la formation du syncytiotrophoblaste, qui assure l'interface entre les tissus maternels et fœtaux. Ce phénomène repose notamment sur l'action des protéines virales syncytine -1 et syncytine -2, issues de rétrovirus endogènes intégrés au génome des mammifères il y a des millions d'années.

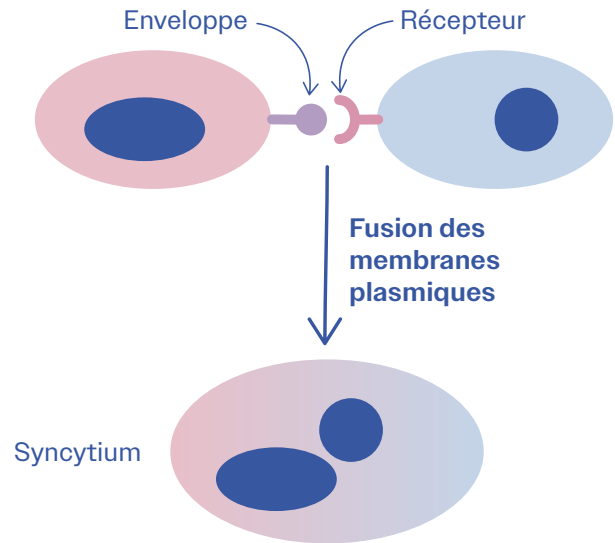
La syncytine -1 joue un rôle essentiel dans la fusion des cellules du cytotrophoblaste, aboutissant à la formation du syncytiotrophoblaste. Cette structure multinucléée permet une meilleure adhésion des tissus embryonnaires à l'endomètre utérin, assurant une implantation stable et des échanges optimisés entre la mère et le fœtus. De plus, le syncytiotrophoblaste agit comme une barrière protectrice limitant le contact direct entre les cellules maternelles et embryonnaires, ce qui contribue à réduire le risque de rejet immunitaire.







### Infection rétrovirale



### Fusion cellule-cellule

#### Comment des rétrovirus endogènes ont contribué à l'évolution du placenta ?

À gauche, un virus fusionne avec une cellule hôte en utilisant ses protéines d'enveloppe, un processus typique des infections rétrovirales.

À droite, ces mêmes protéines ont été réutilisées par les mammifères pour permettre la fusion des cellules du placenta.

Crédit : Dupressoir et Heidmann, Médecine/Science N° 27

Quant à la syncytine -2, elle joue un rôle dans la formation du cytotrophoblaste extravilleux, qui contribue à la modification des vaisseaux sanguins maternels afin d'assurer une circulation sanguine adéquate vers le fœtus. En plus de favoriser la fusion cellulaire, elle joue un rôle immunosuppresseur en modulant l'interaction entre le système immunitaire de la mère et l'embryon. Et oui ! La présence d'antigènes d'origine paternelle dans le fœtus pourrait théoriquement déclencher une réponse immunitaire maternelle, menant à un rejet. Toutefois, l'évolution a sélectionné des mécanismes de régulation qui permettent d'atténuer cette réaction, notamment grâce aux propriétés immunomodulatrices de la syncytine -2. Cette protéine favorise l'expression de molécules impliquées dans l'inhibition de la réponse immunitaire, permettant ainsi une gestation prolongée et une tolérance materno-fœtale.



### Le saviez-vous ?

« Le type de placenta détermine l'efficacité des échanges mère-fœtus et la durée de gestation. Le placenta discoïde (humains, primates) optimise les échanges pour un développement prolongé. Le cotylédonaire (ruminants) répartit ces échanges sur plusieurs zones. Le choral (carnivores) est moins invasif, réduisant les risques pour la mère. Chaque espèce adapte ainsi sa gestation à sa stratégie reproductive ! »

– Professeur François-Joseph Lapointe, expert en mammalogie, Université de Montréal

Fait fascinant, d'après le professeur Benoît Barbeau, expert en rétrovirus endogènes humains de l'Université du Québec à Montréal, un processus au cours duquel des espèces distinctes évoluent séparément tout en acquérant des caractéristiques semblables en raison de contraintes environnementales ou de pressions de sélection similaires a conduit certains lézards, comme Mabuya, à développer un placenta fonctionnel similaire à celui des mammifères. Cela montre que sous des pressions évolutives comparables, des solutions biologiques semblables peuvent émerger dans des lignées distinctes.

Ainsi, le placenta est l'exemple parfait d'une innovation née de l'intégration d'éléments étrangers, illustrant l'ingéniosité de l'évolution à tirer parti des ressources disponibles pour façonner le vivant !

# Les perspectives d'avenir en recherche biomédicale

La découverte des rôles variés des rétrovirus endogènes humains (HERV) est encore récente dans le monde scientifique. Beaucoup de recherches restent à être effectuées pour mieux comprendre le fonctionnement et l'implication des HERV dans le domaine de la santé. Ces séquences virales, autrefois considérées comme « dormantes », suscitent aujourd'hui un intérêt croissant en médecine, notamment à cause de leur rôle dans plusieurs maladies et leur potentiel comme cible thérapeutique.

Dans certains types de cancers, des HERV peuvent être activés dans la tumeur. Cette particularité offre l'opportunité aux chercheurs de développer des traitements, comme des vaccins, qui ciblent ces protéines virales dans les cellules malades. Cette technique permet alors au système immunitaire de mieux repérer ces cellules. Certaines études ont d'ailleurs montré un ralentissement de la croissance tumorale dans des modèles précliniques. Contrairement à la chimiothérapie, ces traitements sont prometteurs puisqu'ils présentent l'avantage de viser uniquement les cellules cancéreuses, réduisant ainsi les effets secondaires.



Les rétrovirus endogènes, longtemps perçus comme de simples vestiges du passé, se révèlent être des acteurs majeurs de l'évolution des mammifères. Leur rôle dans la formation du placenta illustre comment des éléments autrefois parasites peuvent être détournés au profit de l'organisme hôte. Mais cette relation complexe soulève encore de nombreuses questions. Quels autres gènes d'origine virale ont façonné notre biologie ? Pourrait-on un jour exploiter ces éléments pour améliorer la santé humaine, voire prévenir certaines maladies liées aux rétrovirus endogènes ?

Les recherches futures pourraient ouvrir de nouvelles perspectives, notamment en immunologie et en médecine régénérative. Comprendre comment ces virus intégrés interagissent avec notre génome pourrait aider à mieux traiter des pathologies comme les cancers ou les maladies auto-immunes. De plus, explorer les mécanismes de défense du système immunitaire liés à la gestation pourrait inspirer de nouvelles approches thérapeutiques, notamment pour la transplantation d'organes.

*Ainsi, loin d'être de simples reliques évolutives, les rétrovirus continuent d'influencer notre développement et notre santé.*

## Portraits de nos *experts*

### **François-Joseph Lapointe**

Dirigeant du laboratoire d'écologie moléculaire et d'évolution et professeur au Département des Sciences Biologiques à l'Université de Montréal. Ses intérêts de recherche regroupent entre autres la phylogénie, la métagénomique et la génétique des populations.

### **Benoit Barbeau**

Professeur et chercheur au Département des Sciences Biologiques à l'Université du Québec à Montréal. Son expertise se concentre sur les rétrovirus, notamment le VIH, et les rétrovirus endogènes humains (HERV).

### **Éric Rassart**

Chercheur et professeur émérite au Département des Sciences Biologiques à l'Université du Québec à Montréal. Il se spécialise dans les rétrovirus murins et leurs rôles dans l'apparition de cancers et d'autres pathologies.

Par Pauline Gil,  
Marylise Yavo,  
Sofia Gadiri  
et Aminata Daou

# Quand les *océans* **s'éteignent : la** *bioluminescence* **des céphalopodes** **menacée par** *l'exploitation* **minière ?**



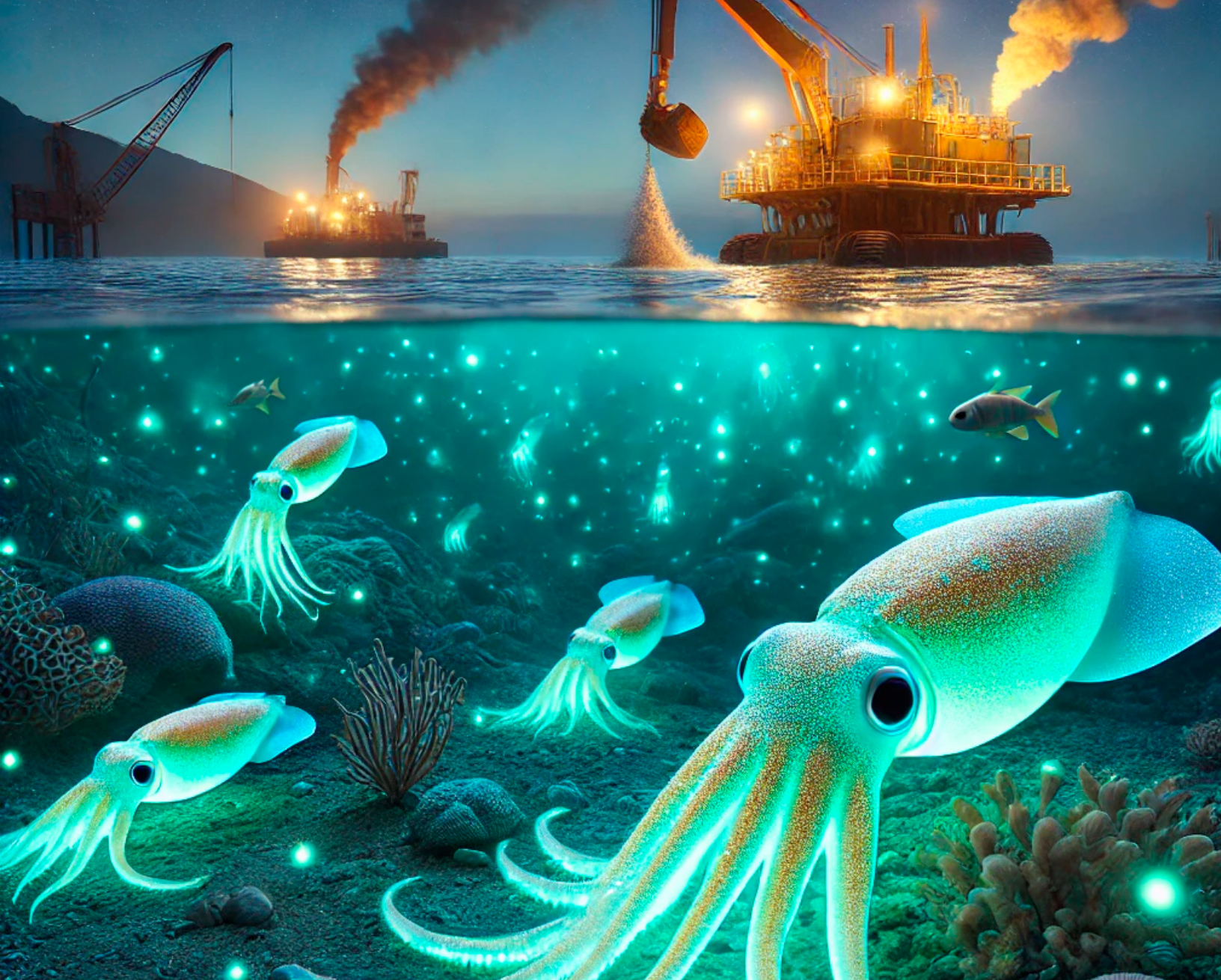


Image générée par IA via ChatGPT (OpenAI)

*Imaginez un océan vibrant de lumière, où d'innombrables créatures illuminent les profondeurs d'une lueur fantomatique. Des céphalopodes aux reflets bleutés dérivent silencieusement, utilisant leur bioluminescence pour chasser, communiquer, se camoufler. Mais peu à peu, ces éclats s'éteignent. Les eaux jadis scintillantes sombrent dans l'obscurité. La pollution chimique, insidieuse et invisible, étouffe ces signaux lumineux essentiels à la survie de nombreuses espèces. Que se passe-t-il lorsque la mer perd sa lumière ? Comment la disparition de ces organismes-clés menace-t-elle l'équilibre fragile des écosystèmes marins ?*

*En quoi l'exploitation minière affecte-t-elle les mécanismes de bioluminescence des céphalopodes, et quelles en sont les conséquences sur leur comportement, leur survie et leur rôle écologique dans les écosystèmes marins ?*

# Éclairer les abysses : portrait des céphalopodes et de la menace

Les céphalopodes sont des invertébrés appartenant à la classe des mollusques marins regroupant les calmars, les poulpes et les seiches. Caractérisés par leur intelligence remarquable, leur capacité de camouflage et leur agilité, ils jouent un rôle essentiel dans les écosystèmes marins.

Prédateurs efficaces, ils influencent l'abondance des populations de nombreuses espèces et participent à l'équilibre trophique des océans. Leur interaction avec d'autres organismes, notamment via la bioluminescence et les phénomènes de bioaccumulation, en fait des acteurs majeurs du fonctionnement des milieux marins.

La bioluminescence est apparue à plusieurs reprises de manière indépendante chez les organismes dans le temps. Il faut tout de même savoir que toutes les espèces de céphalopodes ne sont pas bioluminescentes. Parmi celles qui émettent de la lumière, il existe deux types principaux de bioluminescence.

Malgré leur importance, les céphalopodes sont exposés à diverses menaces environnementales, ce qui soulève des questions sur leur conservation et sur l'impact des activités humaines sur ces espèces fascinantes.

En effet, l'océan est de plus en plus affecté par les activités anthropiques, notamment à cause de la pollution par des éléments traces métalliques (ETMs), anciennement connus sous le nom de métaux lourds, qui proviennent des déchets industriels et des eaux usées.

Ces métaux, présents normalement en concentrations inférieures à 100 ppm (parties par millions) dans l'environnement, sont assimilés par les organismes marins, dont les céphalopodes, qui ont une capacité remarquable à les accumuler.

Certains de ces ETMs, tels que le cuivre et le zinc, sont essentiels à leur survie, tandis que d'autres, comme le mercure, l'arsenic, le plomb et le cadmium, sont toxiques pour ces animaux. La quantité de métaux dans leur organisme varie toutefois en fonction de plusieurs facteurs, notamment l'espèce, l'âge et l'alimentation.

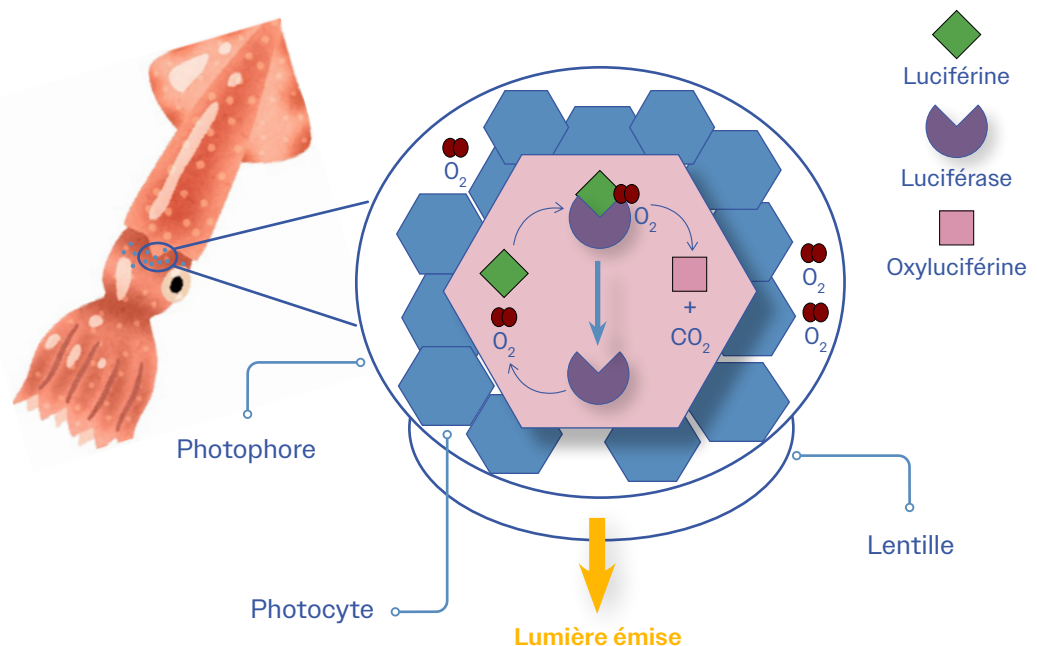
Cependant, les effets de cette pollution sur les céphalopodes et sur l'équilibre des écosystèmes marins restent encore mal compris.

## Une lumière vitale dans les profondeurs

Au plus profond des océans, là où la lumière du soleil n'atteint plus, certains organismes sont capables de générer leur propre lumière. Ce processus s'appelle la bioluminescence, un phénomène fascinant que l'on estime être présent chez 32 % des espèces de céphalopodes. Il se déroule dans des organes luminescents appelés photophores, présents à différents endroits sur le corps des céphalopodes (tête, bras, tentacules) et renfermant des cellules spécialisées, les photocytes.

Ce processus implique une enzyme particulière, la luciférase qui accélère la réaction d'une molécule, communément appelée luciférine avec de l'oxygène, ce qui permet de produire de l'énergie sous forme de lumière. Les céphalopodes sont également en mesure d'ajuster l'intensité et la couleur des émissions lumineuses grâce à leur système nerveux, en fonction de leurs besoins écologiques.

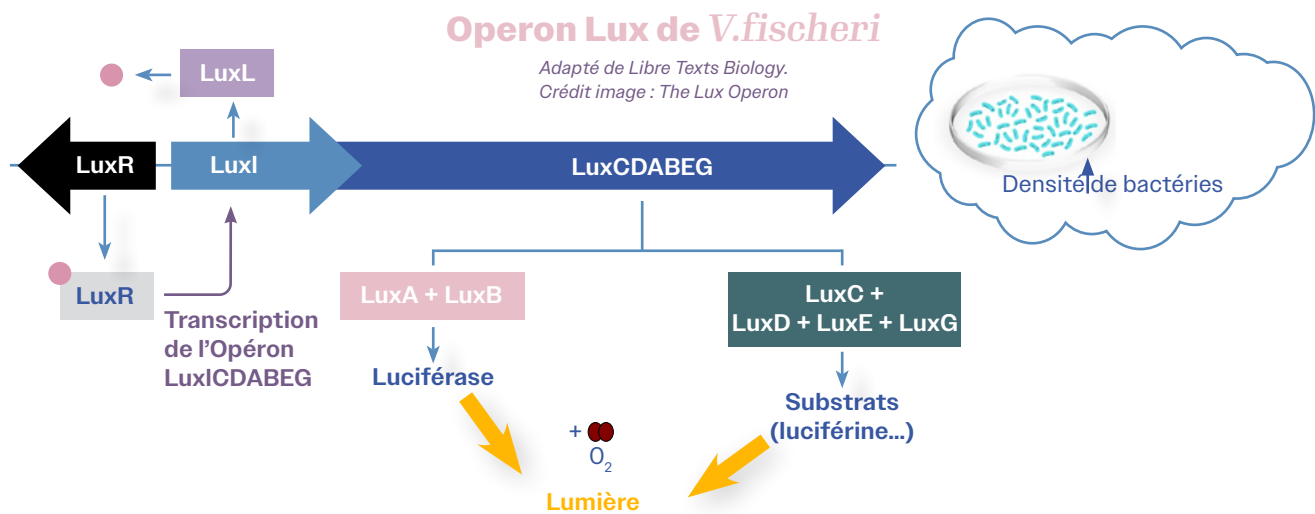
### Mécanisme de bioluminescence



Chez les céphalopodes, on distingue deux types d'organismes bioluminescents : les organismes autogènes, capables de produire eux-mêmes leur propre lumière, et les organismes bactériogènes, qui hébergent des bactéries lumineuses dans leurs photophores.

Un exemple de ce dernier cas se déroule chez le calmar *Euprymna scolopes* vivant en symbiose avec les bactéries *Vibrio fischeri*. Lorsque la densité de la population bactérienne dans les photophores se retrouve à un seuil critique, un mécanisme de communication intracellulaire appelée

*quorum sensing*, déclenche la production d'une molécule auto-inductrice par une protéine appelée *LuxI*. Cette dernière va se lier à une protéine *LuxR* permettant la transcription d'un ensemble de gènes, l'*Opéron Lux* (*luxI*/*CDABEG*) une unité de régulation génétique, responsable de la production de protéines bioluminescentes. Ainsi, les gènes *luxA* et *luxB* de l'*Opéron Lux* codent pour la synthèse de la luciférase tandis que les gènes *luxC*, *luxD*, *luxE* et *luxG* sont impliqués dans la synthèse des substrats fonctionnels de la bioluminescence bactérienne tel que la luciférine.



## Éclairage scientifique

David Morse

→ Comment fonctionne la bioluminescence bactérienne ?

« La bioluminescence bactérienne, propre aux systèmes symbiotiques, repose sur un mécanisme de communication appelé le *quorum sensing*, où les bactéries vont libérer une molécule signal dans leur environnement. Lorsque sa concentration atteint un seuil, cela déclenche l'expression des gènes responsables de la bioluminescence. Ce phénomène suit le principe "tout ou rien", semblable à un interrupteur : tant que le seuil n'est pas atteint, aucune lumière n'est émise. Chez certains céphalopodes, comme le calmar, les bactéries bioluminescentes vivent en densité élevée dans des poches spécifiques, produisant une lumière en continu. »

→ Quel est le matériel que vous utilisez, chez les dinoflagellés ou anciennement chez les bactéries, pour mesurer la bioluminescence ?

« Autrefois, nous utilisions un phototube, un dispositif électronique qui détecte les photons et génère un courant électrique en réponse. L'intensité lumineuse était ainsi mesurée en fonction du courant produit.

Aujourd'hui, des technologies plus modernes, efficaces et abordables ont remplacé ce système, mais le principe reste le même : convertir la lumière en signal électrique pour quantifier la bioluminescence. »

Edith Widder

→ Avez-vous déjà observé un exemple marquant de bioluminescence chez les céphalopodes ?

« J'ai été fasciné par l'omniprésence de la lumière dans l'océan et le peu d'études à son sujet, ce qui a orienté toute ma carrière. L'un des exemples les plus impressionnants concerne des ventouses qui, sous la pression de sélection, ont perdu leur capacité d'adhésion pour évoluer en organes lumineux. Lors de dissections, nous avons observé des anneaux musculaires vestigiaux, preuve de cette transformation. »



La bioluminescence remplit plusieurs fonctions essentielles pour la survie des céphalopodes. Lors de la chasse, certains céphalopodes, comme le calmar-vampire (*Vampyroteuthis infernalis*) qui tire son nom de son apparence quelque peu monstrueuse, utilisent la lumière pour attirer ou désorienter leurs proies dans les profondeurs marines. En défense, elle sert de moyen de dissuasion, avec des éclairs lumineux qui effraient les prédateurs, ou comme camouflage actif, permettant aux céphalopodes de se fondre dans leur environnement.

Dans les domaines de la reproduction et de la communication, la bioluminescence joue un rôle essentiel. Elle permet à certaines espèces marines de signaler leur présence à des partenaires sexuels ou encore d'afficher leur statut social au sein d'un groupe. La chercheuse Séverine Martini, interviewée par Futura-Sciences en 2024, insiste d'ailleurs sur l'importance de ces signaux lumineux dans les environnements profonds, où l'obscurité est totale : sans eux, les interactions entre individus seraient tout simplement impossibles.

De son côté, le biologiste marin Steven Haddock, spécialiste reconnu de la bioluminescence, rappelle dans une étude de 2022 combien ces échanges lumineux sont cruciaux pour l'équilibre des écosystèmes profonds, notamment en lien avec le rôle des bactéries dans le cycle du carbone.

## L'exploitation minière des fonds marins

L'exploitation minière en haute mer suscite un intérêt croissant car les fonds marins contiennent des métaux précieux comme le cobalt et le nickel, utilisés dans les technologies modernes. Cependant, cette activité pose de graves risques environnementaux, souvent sous-estimés.

Les opérations minières génèrent d'importants nuages de sédiments et rejets de métaux dissous qui peuvent se disperser sur des centaines de kilomètres. Ces rejets affectent non seulement le fond marin, mais aussi les écosystèmes pélagiques intermédiaires (entre la surface et les profondeurs), qui jouent un rôle clé dans le cycle du carbone et la biodiversité.

De plus, le bruit des machines et la destruction des habitats menacent plusieurs espèces marines. Bien que des réglementations soient mises en place par une organisation internationale, la ISA (International Seabed Authority - Autorité Internationale des Fonds Marins), les scientifiques manquent encore d'informations pour mesurer l'impact réel de ces exploitations.

Hormis l'exploitation minière, les ETMs présents dans les océans proviennent aussi de sources naturelles et terrestres. Naturellement, ils sont libérés par l'altération des roches et l'érosion des sols, puis transportés vers les océans. Les sources de pollution terrestres aux ETMs comprennent entre autres : l'industrie, l'agriculture, la combustion des combustibles fossiles et les rejets urbains.

## Du poison pour la lumière

Les céphalopodes absorbent les éléments traces métalliques (ETMs) présents dans leur environnement, principalement par leur alimentation et, dans une moindre mesure, par l'eau. Grâce à leur système circulatoire fermé, les céphalopodes transportent les ETMs via le sang. Les métaux toxiques tels que le cadmium ou le mercure ont tendance à s'accumuler en concentrations élevées dans des organes de stockage, principalement dans les glandes digestives, les muscles, les glandes branchiales et les cœurs branchiaux, qui assurent la distribution sanguine et la filtration des toxines. Ce phénomène est connu sous le nom de bioaccumulation.

Lorsque ces céphalopodes sont consommés par des prédateurs (poissons, dauphins, oiseaux marins, etc.), les ETMs se transmettent et s'amplifient à chaque niveau de la chaîne alimentaire, entraînant une bioamplification. Ce phénomène représente un risque non seulement pour les écosystèmes marins, mais aussi pour l'humain, notamment via la consommation de fruits de mer contaminés.

Cependant, une question demeure : comment ces organismes parviennent-ils à survivre avec de telles charges métalliques ? Leurs mécanismes de détoxification restent encore partiellement élucidés.

Pour limiter la toxicité des ETMs, ils peuvent être liés à des métallothionéines, des protéines spécialisées dans la régulation et la détoxification des métaux, ou être séquestrés sous forme de granules inactifs dans les lysosomes.

Le cadmium et le cuivre s'accumulent fortement dans la glande digestive, tandis que le mercure se fixe davantage aux protéines musculaires.

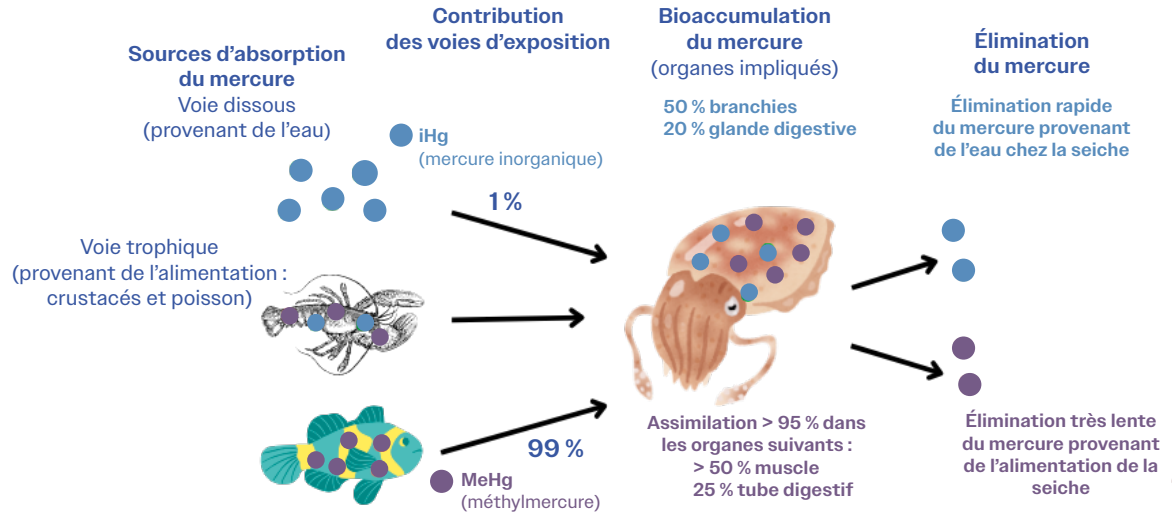
L'organisme élimine partiellement ces éléments par la voie rénale sous forme d'ammoniac et fécale après biotransformation dans la glande digestive. Les mécanismes exacts de cette détoxification restent à approfondir dans de futurs projets.

Les éléments restant dans le corps des céphalopodes perturbent le processus d'oxydation de la luciférine en altérant l'expression des gènes codant les enzymes luciférase ou en modifiant leur activité catalytique.

L'accumulation de métaux lourds, comme le mercure et le cadmium, induit donc des altérations structurales des protéines bioluminescentes, réduisant ainsi l'intensité et la durée de l'émission lumineuse. Cette perturbation peut affecter des comportements clés, comme la communication et la chasse, mettant en péril la survie des céphalopodes dans leur environnement naturel comme nous allons le voir maintenant.



## La bioaccumulation du mercure chez un céphalopode



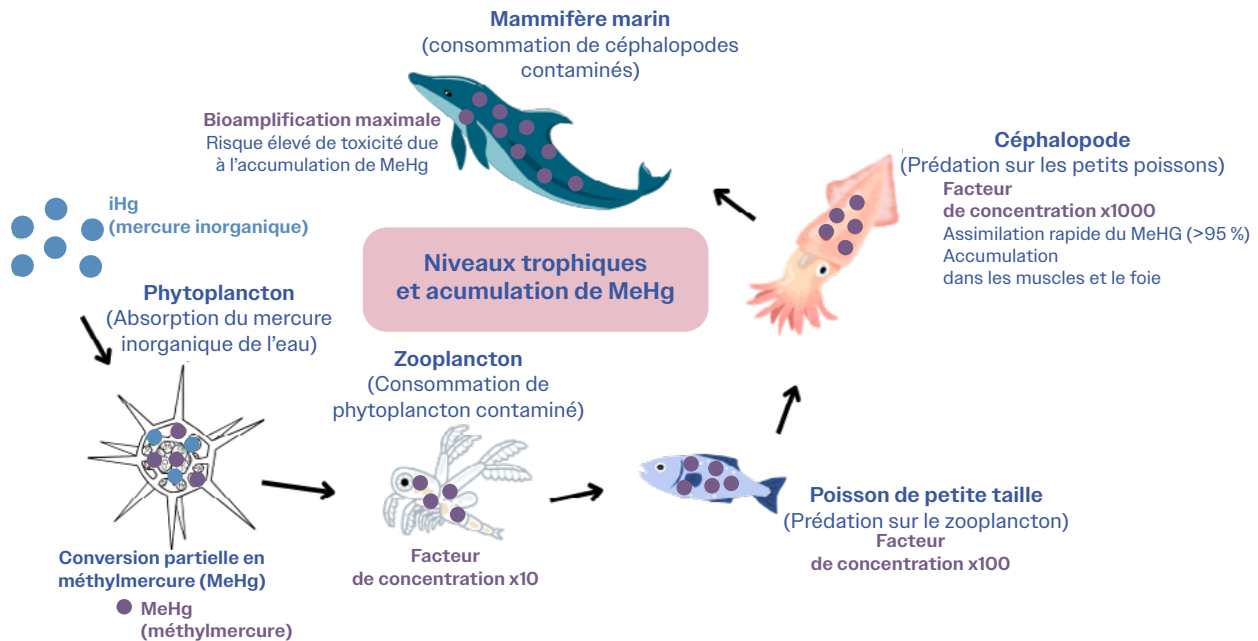
Ce schéma illustre la bioaccumulation du mercure chez la seiche commune (*Sepia officinalis*).

À l'aide de techniques de radiomarquage avec l'isotope  $^{203}\text{Hg}$ , les chercheurs ont analysé la toxicocinétique et la répartition du mercure inorganique (iHg) et organique (MeHg) absorbés par voie dissoute ou alimentaire. Quatre jours après l'ingestion de nourriture radiomarkée, le méthylmercure (MeHg), majoritairement acquis via la chaîne alimentaire (99 %), est fortement assimilé (>95 %) et s'accumule principalement dans les muscles et le tube digestif. Le mercure inorganique (iHg), provenant de l'eau (1 %), se concentre surtout dans les branchies et la glande digestive.

L'exposition alimentaire représente la voie prédominante de bioaccumulation du Hg chez les jeunes seiches.

Adapté de Minet, A. (2022). Source : Environmental Research, 215(1).

## La bioamplification



Ce schéma illustre la bioamplification du méthylmercure (MeHg) dans la chaîne alimentaire marine.

Le phytoplancton absorbe le mercure inorganique (iHg), transmis au zooplancton qui le concentre davantage. En consommant ces proies, les petits poissons accumulent le MeHg augmentant ainsi le facteur de concentration, qui s'accroît encore plus chez les céphalopodes avec un taux supérieur à 95 % d'assimilation). Enfin, les prédateurs supérieurs (mammifères marins, oiseaux, humains) subissent la plus forte accumulation, exposant ainsi les niveaux trophiques supérieurs à des risques élevés de toxicité.

Adapté de Morin, C. (2023). Source : Musée de la Biodiversité du Québec.

# Les équilibres des écosystèmes bouleversés

Les céphalopodes jouent un rôle clé dans l'équilibre des écosystèmes marins en occupant une position intermédiaire dans les chaînes alimentaires, où ils agissent à la fois comme prédateurs et proies essentielles. Leur bioluminescence menacée par les ETMs est pourtant indispensable pour la chasse, le camouflage et la communication.

La bioaccumulation perturbe le comportement des céphalopodes et les rend plus vulnérables face à leurs prédateurs. D'après Steven Haddock, biologiste spécialiste de la bioluminescence, cette perturbation menace directement leur survie, mais aussi celle de nombreuses autres espèces, en cascade.

En accumulant des métaux toxiques comme le cadmium et le mercure, les céphalopodes deviennent des vecteurs de contamination pour leurs prédateurs. C'est ce qu'on appelle la bioamplification, un phénomène aux effets toxiques parfois graves : troubles neurologiques, baisse de fertilité chez les espèces supérieures...

L'équipe de Beuerlein, en 2002, a montré que ces métaux impactent le système de défense cellulaire des céphalopodes. Et plus récemment, Gestal et Castellanos-Martínez ont mis en évidence que leur système immunitaire est également fragilisé. Résultat : leur capacité à chasser, se défendre ou se reproduire diminue.

Par exemple, chez le calmar lumineux *Watasenia scintillans*, les hydrocarbures perturbent la bioluminescence, réduisant son efficacité à attirer les proies et augmentant le risque d'être lui-même chassé.

À grande échelle, la raréfaction des céphalopodes pourrait déséquilibrer tout l'écosystème marin, avec des conséquences sur la biodiversité... mais aussi sur les ressources halieutiques, dont dépendent de nombreuses populations humaines.

## Éclairage scientifique

Edith Widder

→ *Comment limiter l'impact de l'exploitation minière en eaux profondes et quelles sont les priorités pour protéger les espèces bioluminescentes ?*

« L'exploitation minière en eaux profondes ne devrait pas être menée sans une meilleure compréhension des écosystèmes marins, d'autant plus que des alternatives aux métaux rares existent. Les chercheurs doivent prioriser la quantification des espèces bioluminescentes à l'aide de nouvelles caméras ultra-sensibles. La bioluminescence, en tant qu'indicateur naturel, pourrait aider à mieux comprendre la pompe à carbone, un enjeu clé face au réchauffement climatique. »

## Éclairage scientifique

Edith Widder

→ *Quels effets ces métaux lourds ont-ils sur les fonctions biologiques des céphalopodes, y compris leur capacité à produire de la lumière ?*

« Les métaux lourds perturbent la chaîne respiratoire des bactéries bioluminescentes des calmars, altérant leur capacité à produire de la lumière. Pour les espèces à bioluminescence intrinsèque, ces polluants peuvent altérer les réactions chimiques ou affecter la santé de l'organisme, compromettant ses fonctions biologiques.

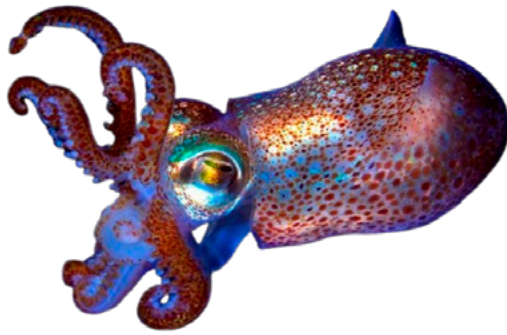
Enfin, l'exploitation minière en eaux profondes pose un autre risque, notamment à cause du bruit, dont les effets sur les calmars restent encore mal compris. »

## Vers une préservation de la lumière marine

Pour limiter l'impact des polluants marins, il est essentiel de renforcer la réglementation sur les rejets industriels, notamment en imposant des seuils plus stricts pour les métaux lourds et les substances toxiques. L'exploitation minière sous-marine, qui libère d'importantes quantités de sédiments et de métaux dissous, représente une menace majeure pour les écosystèmes profonds et doit être rigoureusement encadrée selon le chercheur Drazen.

La gestion des déchets plastiques est également cruciale pour réduire la contamination des habitats côtiers et benthiques. La surveillance des zones marines sensibles, couplée à la création d'aires protégées, permettrait de limiter l'exposition des céphalopodes aux polluants.

Enfin, l'étude des biomarqueurs comme les métallothionéines offre une piste prometteuse pour évaluer la contamination des céphalopodes et comprendre leurs mécanismes de détoxification. Pour aller plus loin, les effets des polluants sur la bioluminescence restent peu étudiés et de futures recherches pourraient analyser ces impacts sur les comportements des céphalopodes. Enfin, des approches biotechnologiques inspirées des mécanismes de détoxification des céphalopodes pourraient être développées pour la dépollution marine. L'utilisation de bactéries marines impliquées dans la bioluminescence pourrait également offrir de nouvelles stratégies de biosurveillance selon *Haddock et al.*



**« La bioluminescence est la plus grande merveille de l'évolution, un feu vidant qui éclaire les profondeurs abyssales. »**

– Adapté de Edith Widder

David Morse



Spécialiste en biochimie, David Morse étudie les mécanismes moléculaires de la bioluminescence chez les organismes marins. Lors de notre entretien, il nous a expliqué comment certains dinoflagellés unicellulaires régulent leur production de lumière selon un cycle circadien d'environ 24 heures, indépendant des signaux extérieurs. Ces cellules produisent de la luciférine et de la luciférase uniquement en début de nuit, ce qui leur permet d'optimiser leur consommation énergétique. Cette régulation fine pourrait être une stratégie évolutive favorisant l'efficacité de leur bioluminescence dans leur environnement naturel.

Edith Wilder



## Portraits des chercheurs

Edith est docteure en neurobiologie et présidente de l'Ocean Research and Conservation Association (ORCA), en Floride. Passionnée par la bioluminescence depuis sa première plongée en submersible, elle est devenue une référence mondiale dans ce domaine.

Elle nous a partagé sa vision sur le rôle écologique de la bioluminescence et sur l'impact des activités humaines, notamment la pollution lumineuse et chimique, sur ces signaux essentiels dans les profondeurs marines. Son témoignage a enrichi notre réflexion sur les enjeux de conservation.

Au terme de la 19<sup>e</sup> édition du *Point Biologique*, nous souhaitons exprimer notre profonde *gratitude* à toutes les personnes ayant contribué à la concrétisation de ce projet collectif.

Merci aux *auteur·rices* pour leur rigueur et leur passion, au *comité* de sélection pour leurs évaluations éclairées et à notre *graphiste* pour la conception visuelle soignée. Nous remercions également la Société de biologie de Montréal (SBM), les Services à la vie étudiante de l'UQAM (SVE), l'Association des étudiants de la faculté des sciences, ainsi que le département des sciences biologiques pour leur soutien financier *indéfectible*. Enfin, un immense merci à nos *lecteurs et lectrices*, qui, année après année, permettent à cette tradition académique de perdurer et à la science de rayonner au-delà des murs de l'université.

UQÀM | Département des sciences  
biologiques

UQÀM | Faculté des sciences  
Université du Québec à Montréal

UQÀM | Services à la vie étudiante

  
Société de biologie de Montréal



Grâce à la *générosité* de plusieurs entreprises locales et institutions, nous avons pu organiser une soirée bingo festive afin d'amasser des fonds essentiels à la réalisation de cette édition du *Point Biologique*.

Nous tenons à souligner leur *soutien inestimable*. Certains dons ont permis de récompenser les participant·es du bingo, tandis que d'autres seront partagés ou tirés lors de notre soirée de vernissage. Qu'il s'agisse de contributions matérielles, financières ou logistiques, leur *appui* a joué un rôle clé dans la concrétisation de notre projet. Leur *engagement* envers la diffusion de la science et le dynamisme étudiant mérite d'être souligné.

*Merci du fond du cœur !*





Un grand merci à ***BirdzNow***, jeune entreprise fondée par deux passionnés de nature, pour leur soutien généreux lors de notre bingo-bénéfice. Leur engagement envers l'ornithologie et la préservation de la biodiversité reflète parfaitement les valeurs de notre communauté scientifique.

[birdznow.com](http://birdznow.com)

Un immense merci à la ***Mycoboutique***, pour ses généreux prix offerts lors de notre soirée bingo et au vernissage ! Nous remercions tout particulièrement Judith Noël Gagnon, directrice de l'entreprise et diplômée du programme en 2006, pour son soutien bienveillant et son implication inspirante.



[mycoboutique.com](http://mycoboutique.com)



Nous avons pu compter sur le soutien d'***Agriculture du Coin***, entreprise dédiée à la résilience urbaine et à l'éducation alimentaire, qui a offert des prix pour notre soirée bingo et notre vernissage. Un appui rendu possible grâce à la collaboration inspirante de ***Philippe Reaud***, directeur des opérations, merci pour son écoute et son appui.

[agricultureducoin.ca](http://agricultureducoin.ca)

Merci à ***Unel***, qui, par son engagement pour la revalorisation textile, a généreusement offert un prix unique lors de notre soirée de vernissage.



[unel.ca](http://unel.ca)



Un grand merci à ***Espace pour la Vie (Biodôme)*** pour avoir offert des paires de billets pour notre bingo et notre soirée de vernissage, contribuant ainsi à rendre cet événement encore plus spécial.

[espacepurlavie.ca](http://espacepurlavie.ca)



Un grand merci aux *Amis du Jardin botanique*, qui soutiennent depuis 1975 la mission éducative et scientifique du Jardin botanique de Montréal, pour leur généreux don d'abonnement d'un an, offert lors de notre bingo et vernissage.

[amisjardin.com](http://amisjardin.com)

Un grand merci à *Rebon*, une entreprise québécoise qui transforme avec brio les résidus du brassage en délicieuses collations saines et écoresponsables. Leur généreuse contribution a ajouté une touche gourmande et engagée à notre événement, et nous sommes ravis d'avoir pu partager leur mission d'innovation durable avec notre communauté.



[rebon-quebec.com](http://rebon-quebec.com)



Bright Valley

flirt



LYOterra  
Aliments Lyophilisés - Freeze Dried Food



Un immense merci à *Bright Valley*, dont le soutien a été essentiel à la réussite de notre événement. transformateur, distributeur et importateur spécialisé dans la revalorisation et la transformation de fruits rescapés, l'entreprise approvisionne l'industrie brassicole dans les quatre coins de la province, ainsi que des compagnies de limonades écoresponsables et tout manufacturier transformant les fruits. Les opérations de l'entreprise ont permis de sauver plus de 328 tonnes de fruits au cours des 30 derniers mois. Grâce à leur générosité, nous avons pu établir des partenariats précieux avec *Flirt* qui nous a offert ses limonades, ainsi qu'avec *Shawbridge*, l'*Hydromellerie Tal* et *Lyo Terra*, présentes lors du vernissage.

*Bright Valley* a su mettre en valeur des produits savoureux, durables et de grande qualité. Leur engagement envers l'innovation et l'environnement a été un véritable atout, et nous leur en sommes profondément reconnaissants.

Comme le dirait son fondateur, Alex :

« On change le monde, une tonne rescapée à la fois ! »

[brightvalley.ca](http://brightvalley.ca)

[flirtdrinks.com](http://flirtdrinks.com)

[hydromellerietal.ca](http://hydromellerietal.ca)

[lyoterra.com](http://lyoterra.com)

[shawbridge.ca](http://shawbridge.ca)

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](mailto:lepointbiologiqueuqam@gmail.com)

Cette revue est également disponible  
en version électronique :  
[https ://lepointbiologique.com](https://lepointbiologique.com)

A silhouette of a wolf or coyote is shown in profile, facing right. The animal is standing on a dark, silhouetted horizon line. The background is a gradient sky transitioning from a deep blue at the top to a soft pink and orange near the horizon, suggesting a sunset or sunrise. Some thin, dark lines of grass or reeds are visible on the right side of the horizon.

## **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](mailto:moduledebiologie@uqam.ca)