

LE POINT BIOLOGIQUE

Édition spéciale

20^e volume - 2026

**Blob, l'unicellaire
aux multi-talents**

**L'amour est dans l'air !
Le pouvoir caché de nos
odeurs corporelles dans nos
mécanismes d'affection**

**Sommeil perturbé : et si
vos bactéries intestinales
en étaient la cause ?**

**L'industrie des probiotiques
et le standard impossible**

**L'épopée d'un cadavre :
la biologie du post-mortem**



Membres du comité

Telmo Aragüés Málaga,
 Rose Comte-Marcil,
 Océane Garçon-Gravel,
 Thierry Gaucher,
 Arno Landry,
 Lilou Lavoie,
 Liliane Morin,
 Elisabeth Mouge,
 Elya Nardini,
 Malik Romdhani,
 Cassandre Vienneau

Comité de sélection

Julien Arsenault | Professeur-chercheur en écologie, limnologie et dynamique des populations (UQAM)
Karine Dufresne | Professeure-chercheuse en microbiologie et immunologie (UQAM)
Audrey Robert | Administratrice Association des biologistes du Québec (ABQ)
Magalie Houde | Professeure-chercheuse en toxicologie environnementale (UQAM)
Catherine Jumarie | Professeure-chercheuse en toxicologie environnementale (UQAM)
Said Kourrich | Professeur-chercheur en physiologie humaine, toxicologie et neuropsychiatrie (UQAM)
Yvan Lamontagne | Journaliste et retraité des affaires publiques de Radio-Canada
Pierre Mongeau | Professeur-chercheur en communication au Département de communication sociale et publique (UQAM), cofondateur de la revue *Communiquer*
Lyne Picard | Biologiste associée à la Société de Biologie de Montréal (SBM)
Daniel Rivest | Vice-Président de la Société de Biologie de Montréal (SBM)
Véronique Sauriol | Conseillère aux communications pour les Fonds de Recherche du Québec (FRQ)
Jean-Philippe Thomas | Chargé de cours en philosophie de la biologie, affilié au Département de philosophie (UQAM)

Encadrement professoral

Tanya Handa
 Nicolas Pilon
 Jean-Hugues Roy

Graphisme et mise en page

Virginie Jullien | Sous les étoiles — studio graphique

Crédits photos couvertures avant et arrière

Karim Bouzidi | Étudiant de Premier Cycle en biologie en APP

Impression

Reprodoc | Imprimerie de Montréal

ISSN 1913-2697

06

**Éditorial, rétrospective 20 ans
et présentation du Comité 2026**

12

**Blob, l'unicellulaire
aux multi-talents**

20

**L'amour est dans l'air !
Le pouvoir caché de nos
odeurs corporelles dans nos
mécanismes d'affection**

28

**Sommeil perturbé : et si
vos bactéries intestinales
en étaient la cause ?**

36

**L'industrie des probiotiques
et le standard impossible**

**Table des
*matières***

44

**L'épopée d'un cadavre :
la biologie du post-mortem**

Éditorial du 20^e numéro

Crédit image : Satomi Nakayama

Cher *lecteur* et chère *lectrice*

C'est avec immense fierté que la cohorte finissante du Baccalauréat en biologie en apprentissage par problèmes de l'UQAM vous présente cette collection d'articles de vulgarisation scientifique. Après un an de travail dévoué, la 20^e édition du *Point Biologique* voit enfin le jour.

Les cinq articles, tous rédigés par des finissant·es, furent sélectionnés par un jury de professionnels issus du domaine scientifique et des communications. Les thèmes abordés fusionnent les trois spécialisations du baccalauréat – l'écologie, la toxicologie/santé environnementale et la biologie moléculaire – et illustrent la collaboration entre les disciplines, réunies par leurs intérêts communs. Cette revue de vulgarisation est aujourd'hui le reflet de l'engagement, de la passion et des connaissances scientifiques de notre cohorte, qui conclut avec ce projet rassembleur sa troisième année de baccalauréat.

Depuis 2007, *Le Point Biologique* est accessible et gratuite pour le public, permettant à des étudiant·es engagé·es de partager leurs intérêts et leurs recherches avec tous. Comme toujours, alors que les enjeux scientifiques sont au cœur des conversations, il est primordial de diffuser ces informations sans barrières, dans l'esprit de participer au fleurissement de la curiosité et du savoir communautaire.

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué au financement et aux travaux nécessaires à la réalisation de cet ouvrage unique, qui souligne cette année son 20^e anniversaire.

Le comité du *Point Biologique* a travaillé sans relâche sur ce projet et est heureux de pouvoir vous offrir cette revue de vulgarisation scientifique, en espérant qu'elle vous apporte de nouvelles connaissances et vous divertisse par ses sujets ambitieux et variés.

Merci à tous et bonne lecture !

Édition spéciale

20^e



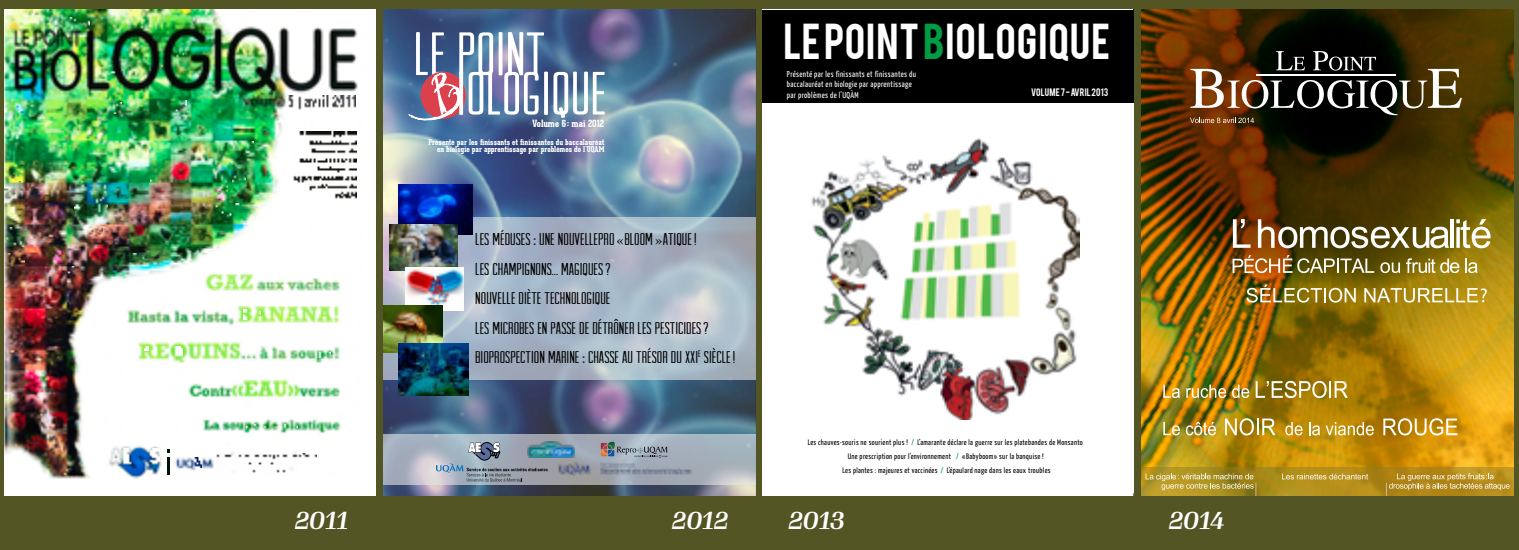
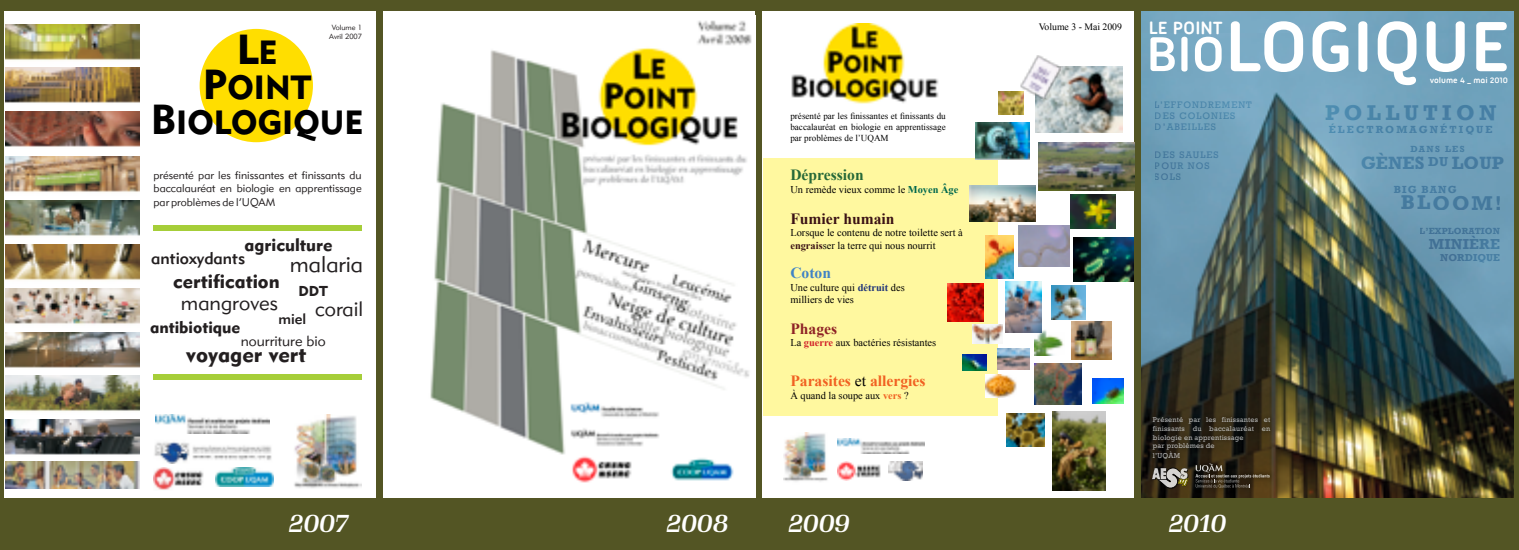
Le Point Biologique a une place importante dans le cheminement de nos étudiants au baccalauréat en biologie à l'UQAM. Il récapitule tout leur parcours multidisciplinaire et leur ouverture sur le monde. Quelle meilleure façon pour nos étudiants de s'exprimer sur le sujet d'actualité de leur choix et cela avec différents points de vue comme celui d'un écologiste, d'un biologiste moléculaire et cellulaire ou d'une personne plus spécialisée en santé environnementale/toxicologie. C'est une vitrine incroyable permettant de mettre en lumière la qualité de nos étudiants à la fin de leur parcours. Ayant moi-même créé avec ma collègue Karen Messing il y a maintenant 20 ans le Point biologique, je suis extrêmement fière qu'année après année, nos étudiants tiennent le flambeau et continuent cette belle tradition pour le bénéfice de tous.



Catherine Mounier
Directrice du département
des sciences biologiques

20 ans du Point Biologique

RÉTROSPECTIVE





Telmo
Aragüés Málaga



Rose
Comte-Marcil



Océane
Garçon-Gravel



Lilou
Lavoie



Liliane
Morin



Elisabeth
Mouge



Thierry
Gaucher



Arno
Landry



Elya
Nardini



Malik
Romdhani



Cassandre
Vienneau

Le comité *du Point* *Biologique*

Par Nadia Allée,
Julie Baheux,
Laura Delisle-St-Louis
et Marie Baeriswyl



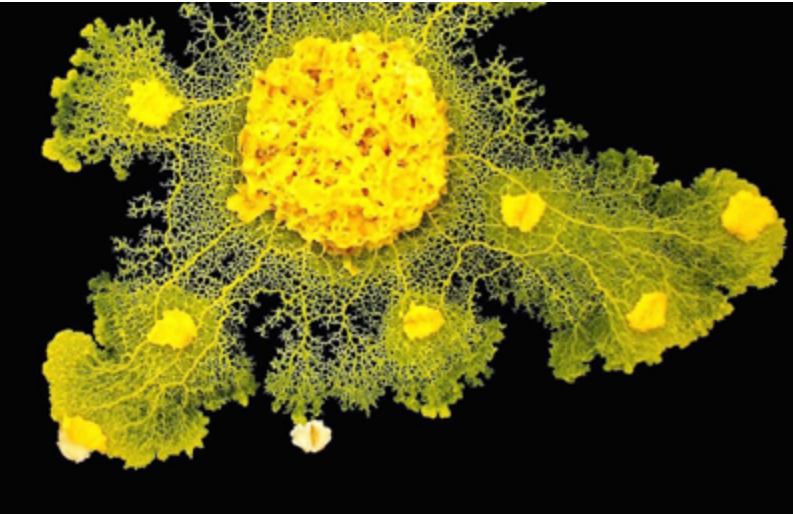
Blob, *l'unicellulaire* aux multi-talents

Crédit image : Nadia Allée

Je suis apparu il y a environ 1 milliard d'années. Je ne suis ni un animal, ni un végétal, ni un champignon, ni même une bactérie et j'appartiens pourtant au monde du vivant. Je suis inscrit au *Guinness des records*. Je me suis rendu dans l'espace. Je peux me cloner et fusionner avec d'autres individus. Je suis un modèle d'étude pour de nombreux chercheurs. J'ai permis la création d'un réseau de pistes cyclables dans une mégapole. Mon nom latin est *Physarum polycephalum*. Mon surnom est le Blob, et voici mon histoire.

Autoportrait

Par où commencer ma description ? Une forme mal définie, jaune et aplatie, constituée de multiples prolongements. Je n'invite pas forcément à la rencontre. La chercheuse Audrey Dussutour s'est d'ailleurs montrée sceptique la première fois qu'on lui a proposé de m'étudier. C'est seulement après avoir constaté ma fugue du carton dans lequel je logeais qu'elle a entrevu mon potentiel d'unicellulaire macroscopique.



Crédit image : Audrey Dussutour | CNRS

Un passage par la classification me semble indispensable. Je proviens d'une très ancienne lignée apparue il y a environ 1 milliard d'années. À titre de comparaison, vous, les animaux, êtes apparus il y a environ 600 millions d'années. Certains croient encore que le vivant se limite aux animaux, végétaux, champignons et bactéries. En réalité, ces groupes ne représentent que quatre des sept règnes du vivant. J'appartiens pour ma part à un règne un peu moins connu, celui des protozoaires. Je suis par conséquent eucaryote, unicellulaire et hétérotrophe mais, ce qui me rattache à ce règne, c'est avant tout ma capacité à me nourrir par phagocytose. En effet, une fois en contact avec notre nourriture, nous, les protozoaires, l'englobons et l'internalisons grâce à notre membrane cellulaire. Il s'agit donc d'une ingestion et non d'une absorption. C'est d'ailleurs ce dernier point qui nous différencie des champignons – n'allez pas me confondre avec ces décomposeurs ! Au sein du règne des protozoaires, j'appartiens plus précisément à l'embranchement des amibozoaires. Je vous entends déjà : amibo-QUOI ? Les amibozoaires, grand groupe caractérisé par la présence de pseudopodes. Ces prolongements de membrane sont à la fois nos jambes, nos bras et notre bouche car ils nous permettent respectivement de nous déplacer, de capturer et de phagocyter. Enfin, je fais partie de la classe des myxomycètes, qui regroupe plus de mille espèces caractérisées par la formation d'un plasmode, l'un des stades de notre développement. Nous ressemblons alors à une masse cytoplasmique gélatineuse dans laquelle baignent beaucoup de noyaux, jusqu'à des milliards ! À ce stade, je peux recouvrir une surface de 10 m² en laboratoire – exploite inscrit au *Livre Guinness des records* – et jusqu'à 1 m² en milieu naturel où les conditions sont moins favorables.

Première médiatisation des blobs !

Les myxomycètes peuvent paraître rebutants pour quiconque les rencontre une première fois, quitte à en effrayer certains. *Fuligo septica*, le cousin plus volumineux de *Physarum polycephalum*, a d'ailleurs souffert de son physique peu engageant : lorsque Marie Harris, une habitante du Texas, découvre cet étrange organisme dans son jardin, elle le compare d'abord à des « œufs brouillés de la taille d'un cookie ». Deux semaines plus tard, Marie constate qu'il atteint la taille de seize cookies et, inquiète, décide de s'en débarrasser. Qu'auriez-vous fait à sa place : le découper en morceaux ? L'écraser ? L'empoisonner ? Appeler les pompiers pour le bombarder d'eau à haute pression ? Marie opte pour ces quatre solutions extrêmes sans aucun succès, le blob finissant toujours par revenir grandi ou dédoublé. Cependant, alors que plus personne ne s'y attend, il se volatilise spontanément. Il n'en faut pas davantage pour que le voisinage s'imagine la visite d'un extraterrestre et que l'histoire soit relatée dans *The Dallas Times Herald*, en 1973. Quelques décennies plus tard, les scientifiques resteront dans cette thématique extra-terrestre et attribueront à *Physarum polycephalum* le nom vernaculaire de Blob, en référence au film éponyme de 1958. Cette œuvre met en scène une créature venue de l'espace, visqueuse et apparemment indestructible – autant de caractéristiques qui évoquent, non sans humour, certains traits des myxomycètes.



Affiche du film *The Blob* (1958), réalisé par Irvin S. Yeaworth Jr. et Russell Doughten, Crédit : www.flickr.com

Eco-blob

Je vous vois déjà vous demander si nous nous sommes déjà rencontrés. Il y a de fortes chances que vous soyez passés devant moi sans même me reconnaître lors de balades en forêt. Vous m'avez peut-être même confondu avec du lichen ou des champignons. Nous partageons en effet cette attirance pour les copeaux de bois, l'écorce humide et les tapis de feuilles mortes dont les forêts tempérées nous comblent. Vous pouvez également nous retrouver à des endroits plus insolites, comme sur des sites industriels. Le point commun entre tous ces endroits ? L'humidité. La présence de substrat humide est même une condition essentielle pour que je puisse m'épanouir, comme le souligne Audrey Dussutour. Elle poursuit que la sécheresse me met dans tous mes états, ou plutôt dans un état particulier : la dormance, aussi nommée sclérote. Au-delà de 29 °C, vous me retrouverez replié sur moi-même avec une activité métabolique extrêmement ralentie. Le manque de ressources nous pousse également à entrer en dormance, mais rassurez-vous, cet état reste réversible lorsque les conditions redeviennent favorables. En revanche, au-delà de 32 °C, c'est la mort assurée.

Nous avons tous un rôle à jouer sur cette planète. Le mien est la fertilisation des sols en relarguant beaucoup de minéraux. J'ai également une place à part entière dans la chaîne trophique : je suis à la fois proie et prédateur. Je me nourris de champignons, de bactéries et de protistes, y compris d'autres blobs. Il m'arrive même d'engloutir des cèpes entiers. Dans

des environnements riches en ressources alimentaires, je vais avoir tendance à raccourcir mes pseudopodes. À l'inverse, ils seront plus étendus dans des environnements hostiles. Malgré tout, j'ai moi aussi des prédateurs : limaces, nématodes, petits coléoptères, petites mouches, autant de créatures que je crains.

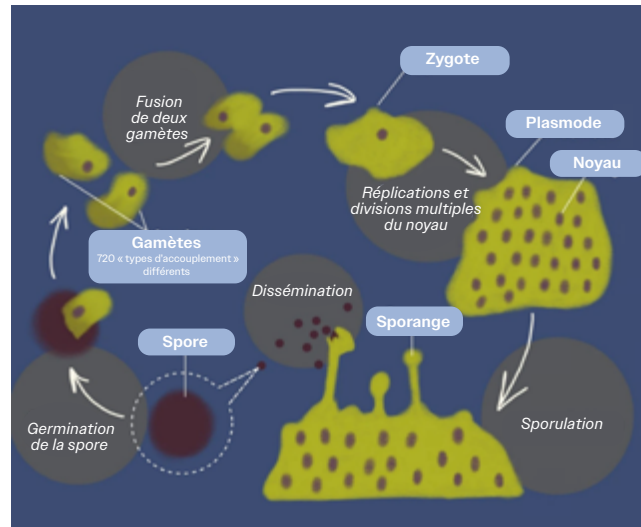
J'ai beau avoir l'air immortel grâce à mon état de dormance, je reste sensible aux modifications de mon environnement. Je peux également me faire découper en morceaux et chaque partie formera alors un nouvel individu indépendant ! Si cela n'est pas déjà assez incroyable, ces individus peuvent également fusionner afin de redonner un seul blob, à la condition qu'ils soient génétiquement similaires. Chez moi, un plus un fait toujours un ! Voilà qui questionne la notion d'individualité. J'ai ainsi, par fusion de centaines d'individus, pu atteindre une longueur de 53,9 m, faisant de moi la plus longue cellule du monde. Je tiens toutefois à vous rappeler que la majorité de vos connaissances à mon sujet découlent de ma vie en laboratoire. Ma vie, loin des feux des projecteurs, dans les sombres sous-bois, reste en grande partie méconnue.

Physarum polycephalum en exploration. Crédit : image libre de droit, Tim Tim - wikimedia.org



Un cycle de vie intrigant

Mon cycle de vie peut paraître complexe à appréhender de prime abord, mais ne vous inquiétez pas, les connaissances d'Audrey Dussutour sauront vous guider. Je me suis précédemment présenté en tant que plasmode. Cette forme ne représente toutefois qu'un seul stade de mon cycle de vie, qualifiée affectueusement de « phase adolescente » par la chercheuse. Au bout de quelques semaines sous cette forme, je me dirige vers la lumière pour déclencher la sporulation. Ce nouveau stade est bien plus long que le précédent, pouvant durer plusieurs décennies. J'édifie alors des structures surélevées qui se terminent par des boules iridescentes, les sporanges. Ces sporanges renferment des cellules sexuées, les spores, qui seront disséminées par le vent, l'eau et les animaux. En contact avec un milieu humide, la spore s'ouvrira afin de libérer un gamète flagellé. Contrairement à vous, qui n'avez qu'un seul sexe opposé avec lequel vous reproduire, il existe au sein de mon espèce 720 « sexes » différents, ou pour être plus rigoureux 720 « types d'accouplement ». Les gamètes fusionnent en un zygote diploïde à un seul noyau. Comment passe-t-on de ce stade à un plasmode multinucléé macroscopique ? Tout simplement en répliquant et divisant mon noyau un grand nombre de fois. Le cycle peut alors se répéter.



Cycle de vie de *Physarum polycephalum*

Crédit : Nadia Allée, inspiré du schéma d'Audrey Dussutour & David Vogel dans le magazine Pour la science N°483, Janvier (2018)

720 types d'accouplement

Physarum polycephalum posséderait 720 types d'accouplement ! Face à cette information déroutante, nous étions obligées d'approfondir la question. Qu'entend-on exactement par 720 types d'accouplement ? La notion de « sexe » permet de définir l'éventail des partenaires possibles pour la reproduction. De la même manière qu'il existe différents « sexes » chez les animaux et végétaux, il existe, chez d'autres organismes, des « types d'accouplement » qui bloquent la fusion des gamètes identiques. À l'inverse des « sexes », les « types d'accouplement » reposent sur des incompatibilités génétiques entre partenaires pourtant phénotypiquement similaires, comme chez *Physarum polycephalum*. Ses croisements sexués sont en effet contrôlés par trois gènes de type sexuel : *matA*, *matB* et *matC* qui influencent respectivement le développement des zygotes en plasmode, la fusion cellulaire des gamètes et la tolérance à un pH élevé lors du croisement sexué. Détail très important, 16, 15 et 3 allèles ont été identifiés pour chacun des gènes à l'heure actuelle. Afin que la fusion ait lieu et aboutisse à la formation d'un nouveau plasmode, les cellules sexuelles doivent présenter des allèles différents pour chacun de ces trois gènes, elles doivent être hétéroalléliques. Ce système combinatoire mène à 720 (16 × 15 × 3) « types d'accouplement » chez *Physarum polycephalum*.

L'art de se mouvoir

Je ne possède ni pattes, ni muscles, ni cerveau... et pourtant je me déplace. C'est seulement en visualisant mon organisation interne que vous comprendrez les mécanismes à l'origine de mes déplacements. Mon corps singulier est constitué d'un vaste « réseau de veines », comme le décrit si bien Audrey Dussutour. Ce terme n'a pas été choisi au hasard, mais attention à ne pas confondre vos veines et les miennes : elles sont structurées à des échelles différentes. Les vôtres sont un maillage de cellules alors que les miennes sont un maillage de molécules formant des tubes en perpétuelle transformation. Elles transportent nutriments et informations comme le font vos veines. Elles sont constituées d'une paroi, l'ectoplasme, issu d'un assemblage de fibres d'actine et de myosine, que l'on retrouve dans les cellules musculaires des animaux. À l'intérieur circule un cytoplasme plus liquide, l'endoplasme. L'ectoplasme est structuré et contractile, tandis que l'endoplasme est fluide et mobile, deux formes d'une même matière organisées différemment.

Le mouvement de l'endoplasme, assimilable à un courant, est rythmé par des oscillations régulières caractéristiques du phénomène appelé « shuttle streaming » : le diamètre de mes tubes varie en permanence grâce à la contraction et au relâchement des fibres d'actomyosine, un processus contrôlé notamment par le calcium. Lorsque ces fibres se contractent de proche en proche, elles créent des différences de pression.

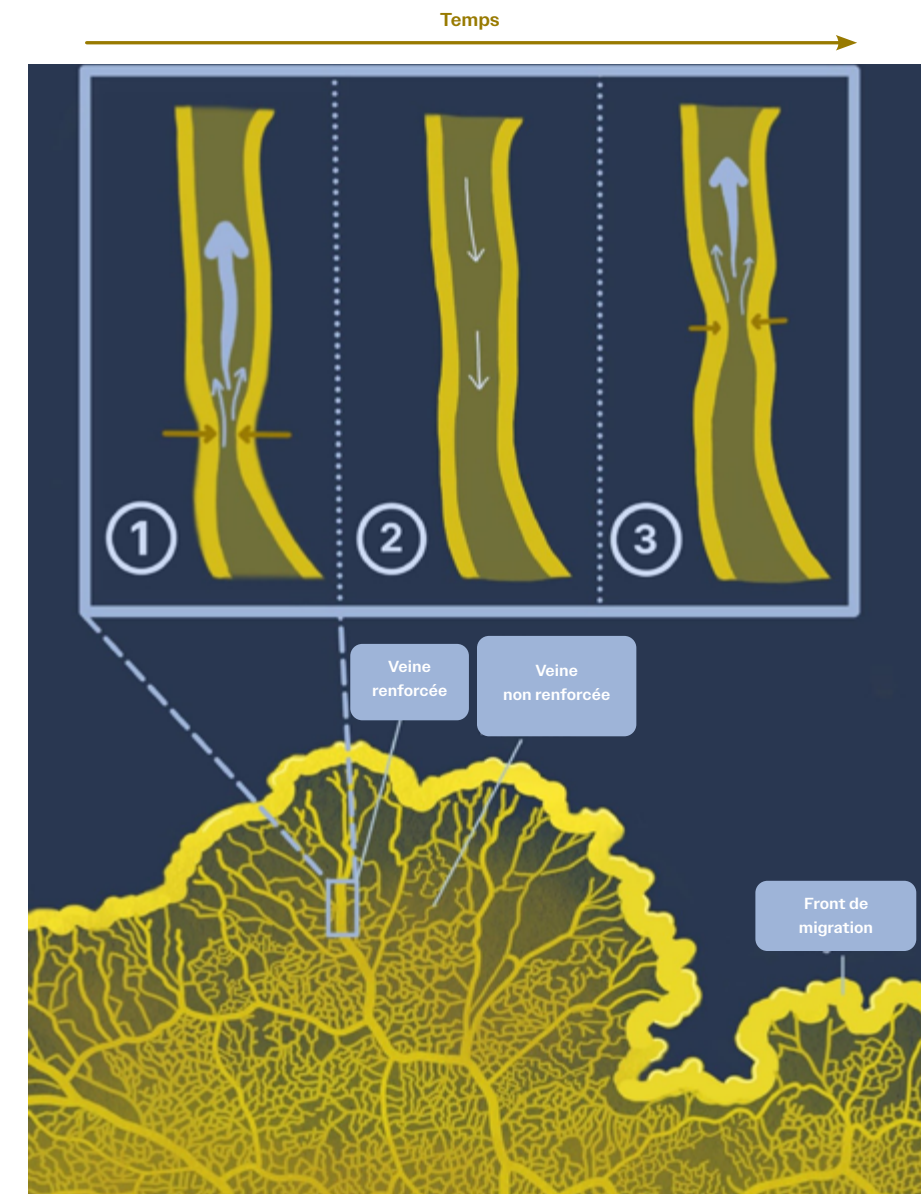
L'endoplasme est alors propulsé vers l'avant, exactement comme le bol alimentaire dans vos intestins qui contractent leurs parois musculaires par péristaltisme. Lors du relâchement de ces fibres, le flux est légèrement renvoyé vers l'arrière, créant une circulation sous forme de va-et-vient continu mais orienté. L'endoplasme avance ainsi à une vitesse de 1 à 2 mm/s. Ce processus résumé par l'expression « deux pas en avant, un pas en arrière » est à l'origine de mes lents déplacements.

Ce courant endoplasmique vient déformer ma membrane cellulaire, créant ainsi les fameux pseudopodes. Les veines aux abords de ma membrane, de moins en moins différenciées, viennent déverser leur endoplasme dans une zone appelée

front de migration. Le réseau veineux y est moins visible à l'œil nu, car moins différencié, contrairement au courant endoplasmique, observable au microscope.

On ne me surnommait jamais Usain Bolt car je progresse lentement, de 1 à 4 cm/h. Mes contractions ne sont pas aléatoires. Elles sont déclenchées par des stimuli externes comme des substances chimiques, la lumière, la température, l'humidité, la gravité ou encore les propriétés du substrat. En fonction de ces stimuli, je module et contracte mon réseau veineux à différents endroits, moments et degrés d'intensité. J'oriente ainsi mes déplacements pour répondre à deux besoins ultimes : manger ou fuir.

Illustration du shuttle streaming en trois étapes



Crédit : Nadia Allée

- 1 Contraction de l'ectoplasme → propulsion de l'endoplasme vers l'avant
- 2 Relâchement → léger reflux vers l'arrière
- 3 Nouvelle contraction de l'ectoplasme → avancée progressive de l'endoplasme et in fine du front de migration

Une mémoire chimique fascinante

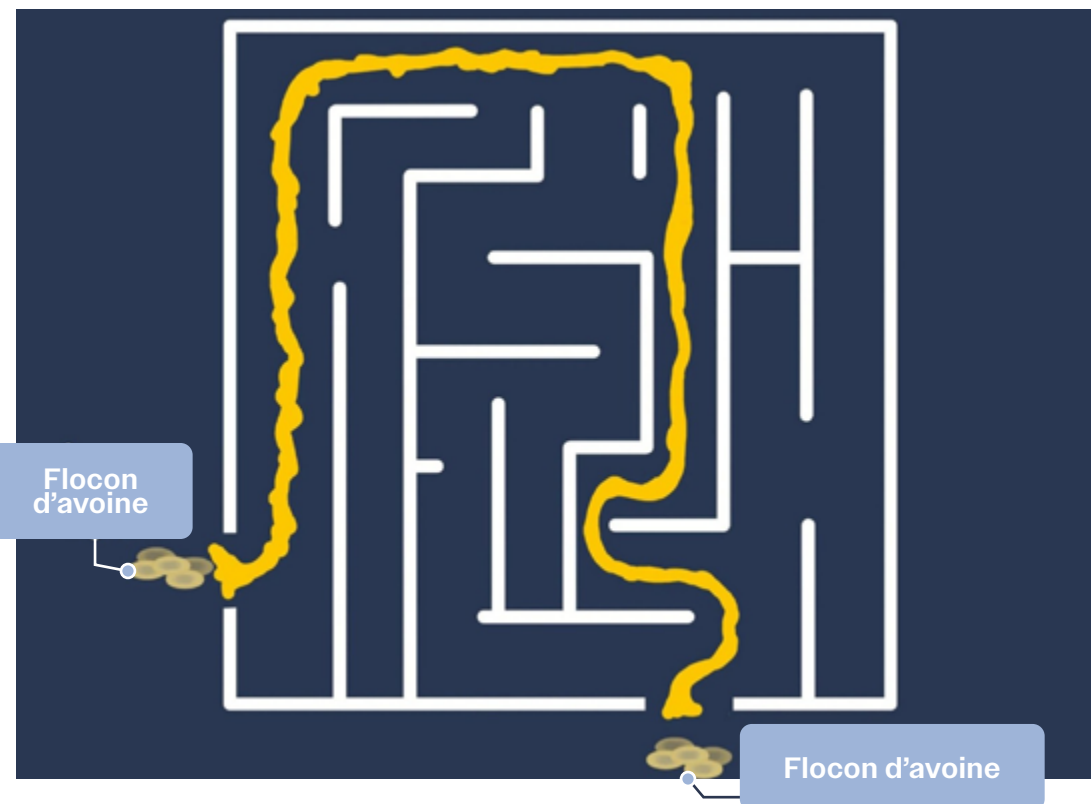
Contrairement à ce que vous pouvez croire, je ne suis pas seulement cette masse jaune et gluante. Non ! Moi, j'apprends. Lorsqu'on m'expose à des substances désagréables mais inoffensives, tels que du sel, du café ou de la quinine, je préfère les éviter. Mais parfois, je dois m'y habituer. Attention, ce n'est pas de la magie. Audrey Dussutour et son collègue David Vogel ont démontré que j'absorbe progressivement la substance, dont l'accumulation laisse une trace chimique dans mon organisme. Ce phénomène est appelé habituation et constitue une forme d'apprentissage. Ma mémoire n'est donc pas comme la vôtre, constituée de neurones et de souvenirs conscients, mais se matérialise par des traces chimiques de mes expériences passées, conservées dans mon corps.

Je possède également une mémoire spatiale externalisée qui me permet d'optimiser ma recherche de nourriture. Lors de mes déplacements infructueux, je dépose une traînée de mucus extracellulaire que j'évite de rencontrer à nouveau. Ce mucus sert d'indicateur de l'absence probable de sources de nourriture dans une zone, comme le soulignent plusieurs chercheurs, dont Audrey Dussutour et Chris R. Reid.

Résultat final de l'expérience de Toshiyuki Nakagaki

Les blobs ont fusionné en un seul et même individu, reliant les deux sources de nourriture par le chemin le plus court, résolvant ainsi le labyrinthe.

Crédit : Nadia Allée, inspiré d'un schéma tiré du livre «*Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur le blob sans jamais oser le demander*», Audrey Dussutour (2017)



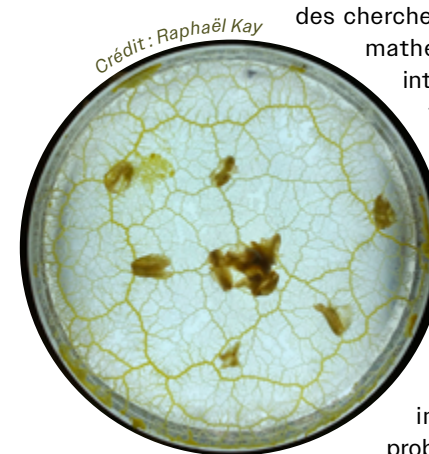
Les expériences fondatrices de Toshiyuki Nakagaki

En plus de mémoriser, je suis capable de résoudre des problèmes et de relier deux points par le chemin le plus court. C'est ce qu'a démontré le chercheur japonais Toshiyuki Nakagaki en 2000. Sa découverte a été couronnée par le prix *Ig Nobel*, qui récompense les avancées scientifiques les plus insolites. Pour son expérience, il m'a divisé en petits fragments avant de les placer dans un labyrinthe, avec des flocons d'avoine à l'entrée et à la sortie. Au début, chaque nouvel individu a étendu son corps à travers toutes les directions, testant chaque couloir. Lors de nouvelles rencontres, les individus ont fusionné jusqu'à former un blob unique. Les veines ne menant à aucune issue se sont progressivement résorbées, ne laissant que celles constituant un seul pseudopode épais couvrant la distance minimale entre les flocons d'avoine. Cette capacité constitue la première étape de la construction d'un réseau optimisé.

Dix ans plus tard, une seconde expérience de Toshiyuki Nakagaki a permis de démontrer ma capacité d'optimisation des chemins. En laboratoire, il a reconstitué des petites cartes de la région de Tokyo. Un flocon d'avoine a été déposé à chaque municipalité de la région. Des contraintes géographiques ont été imposées au moyen d'un masque d'éclairage : les hautes altitudes, les lacs et l'océan ont été fortement éclairés pour y empêcher ma croissance. Finalement, j'ai été posé à l'emplacement représentant la capitale. Il m'a laissé explorer mon environnement. Ainsi, il a réalisé que mon réseau était aussi performant que le réseau ferroviaire de Tokyo en termes de coût, d'efficacité du transport et de tolérance aux pannes.

Des réseaux bio-inspirés

Ma capacité à optimiser mes déplacements a été source d'inspiration en urbanisme, où nos réseaux ont servi à déterminer, par exemple, les pistes cyclables à Dhaka, au Bangladesh, en permettant de décongestionner certains points surfréquentés de la ville. Vous vous demandez peut-être comment on peut passer d'un blob recherchant de la nourriture à la cartographie d'un réseau de pistes cyclables ? Précédemment, j'expliquais pouvoir renforcer mes « veines » menant aux sources les plus intéressantes. En s'inspirant de ce comportement,



des chercheurs ont développé des modèles mathématiques complexes. Ils y ont intégré des paramètres tels que les trottoirs non adaptés, les zones de fortes fréquentations piétonnes ou de marchés ambulants.

Il devient intéressant de se référer au point de vue d'un ingénieur, comme Raphaël Kay. Utilisant la bio-inspiration, il transpose certains de mes comportements clés en outils informatiques répondant à des problématiques urbaines émergentes. L'objectif n'est donc pas de copier parfaitement mon comportement mais d'apprendre de mes qualités afin d'en trouver des applications utiles pour vous. D'après ses travaux, mon comportement peut être divisé en deux phases d'intérêt. La première peut être vue comme une phase d'exploration durant laquelle un maillage continu se forme. La deuxième phase consiste à affiner ce maillage. Celui-ci passe alors de centaines de milliers de segments à seulement une trentaine, qui sont les plus optimaux entre une série de points.

De là, il décrit deux approches pour modéliser mes comportements. La première s'intéresse à nos innombrables noyaux, considérant chacun d'eux comme un agent indépendant, qui, par l'échange de signaux, peuvent détecter la nourriture, interagir entre eux et avec leur environnement. La seconde consiste à m'imaginer comme un réseau hydraulique où certains canaux sont renforcés, optimisant ainsi le transport du fluide dans le réseau. En application, ces outils peuvent servir à améliorer les réseaux existants : ajouter des segments de route ou repérer les zones vulnérables d'un réseau de transport. Ils peuvent également permettre le développement de nouveaux réseaux dans des zones en expansion urbaine.

D'autres domaines pourraient profiter de ce type d'approche. Par exemple, vos microprocesseurs et satellites bénéficieraient grandement d'un arrangement optimisé de l'équipement électronique. Le principal défi est donc d'intégrer ces modèles dans le travail quotidien des urbanistes et des ingénieurs.

Derniers mots d'un blob

Vous l'avez compris, je suis un être exceptionnel. Mes qualités originales m'ont même amené dans l'espace aux côtés de l'astronaute Thomas Pesquet pour une étude comportementale. Nombre de propriétés, telles que ma cicatrisation éclair, font de moi un organisme porteur d'espoir en médecine. Une seule cellule, mais bien des découvertes à faire ! Si l'attention est majoritairement portée sur moi, *Physarum polycephalum*, c'est avant tout pour des questions pratiques car je peux m'épanouir aisément en laboratoire. Malgré tout, vous êtes encore loin d'avoir couvert toutes les connaissances à mon sujet. Imaginez alors l'éventail de découvertes possibles si vous élargissiez vos recherches à l'ensemble des myxomycètes !

Portraits des chercheurs

Directrice de recherche au CNRS à l'université de Toulouse, éthologue spécialiste des organismes eusociaux et unicellulaires, et vulgarisatrice scientifique, **Audrey Dussutour** a fait la rencontre du blob en 2008. Elle est devenue depuis la référence internationale sur le sujet. **Raphaël Kay** est doctorant en sciences des matériaux et en génie mécanique à Harvard. Ses recherches portent sur la bio-inspiration développementale. C'est durant son master en ingénierie qu'il s'est intéressé au blob et à sa capacité d'optimisation des réseaux pour des problématiques urbaines. Leurs visions complémentaires ont permis d'éclairer un sujet aussi complexe et fascinant que le blob. Nous tenions à les remercier chaleureusement pour leur contribution à cet article.



Par Ariitini Bauduin,
Maxime Garant,
Océane Garçon-Gravel
et Elisabeth Mouge

L'amour **est dans *l'air* !** **Le pouvoir caché** **de nos *odeurs*** **corporelles dans** **nos mécanismes** **d'*affection***



Crédit : Michelangeloop

Avez-vous déjà trouvé l'odeur d'un proche incroyablement rassurante... ou au contraire inexplicablement dérangeante ? Cette sensation familière peut raviver un souvenir, provoquer un apaisement immédiat ou, parfois, un rejet instinctif. Eh bien, sachez que ces réactions sont loin d'être anodines, puisqu'elles reposent sur des mécanismes biologiques et neurochimiques aujourd'hui bien documentés par la recherche scientifique. En effet, les odeurs corporelles jouent un rôle plus important qu'on ne le pense dans nos mécanismes d'attraction et d'affection. De la relation mère-nourrisson aux attachements d'adolescent et de jeune adulte, jusqu'aux interactions à un âge avancé, cet article vous propose d'explorer comment notre odorat accompagne et façonne nos relations tout au long de notre vie...

Nous le savons intuitivement, certaines odeurs nous attirent, d'autres nous repoussent. L'odeur d'un proche peut nous rassurer, nous reconforter ou susciter un sentiment de familiarité profonde, tandis qu'une autre, pourtant objectivement neutre, peut provoquer un désintérêt. Ces réactions, loin d'être anecdotiques, traduisent le rôle central des odeurs corporelles dans nos mécanismes d'affection.

L'origine de notre odeur corporelle

En fait, chaque individu émet une odeur corporelle qui lui est propre, une sorte de signature olfactive unique. Véritable carte d'identité moléculaire, cette odeur est d'abord façonnée par notre génétique — notamment par certaines protéines de notre système immunitaire, excrétées par les pores de la peau — mais aussi par notre système hormonal, notre régime alimentaire, notre état de santé et l'activité métabolique des bactéries se trouvant à la surface de notre peau. Ainsi, même si l'être humain est souvent qualifié à tort de microsmatique — soit un individu avec un sens de l'odorat peu développé en comparaison à d'autres espèces — des études ont démontré que l'odorat est le sens le plus viscéralement connecté à notre système limbique, le siège cérébral de nos émotions. Cette particularité est importante, puisqu'elle nous distingue en partie des autres espèces.

L'organe voméronasal : à l'origine de la perception des odeurs ?

En effet, chez la plupart des mammifères, un organe spécifique situé dans la cloison nasale perçoit les composés

volatiles. Il s'agit de l'organe voméronasal (OVN), un organe initialement spécialisé dans la détection des phéromones. Les phéromones, ce sont des substances chimiques qui, lorsqu'elles sont émises par un individu, déclenchent automatiquement une réponse comportementale ou physiologique chez un autre membre de son espèce. Ces signaux assurent ainsi la communication d'informations essentielles intra-espèce, orientant des comportements tels que l'annonce d'un potentiel partenaire reproducteur, ou l'établissement d'une hiérarchie sociale. Toutefois, chez l'être humain, cet organe est non opérationnel. L'organe apparaît *in utero*, lors du développement embryonnaire, puis régresse jusqu'à ne plus avoir de fonction sensorielle. Le professeur et chercheur de l'Université de Montréal Guillaume Dumas, spécialisé en neurosciences sociales, nous le confirme :

« D'un point de vue évolutif, le nombre de récepteurs olfactifs diminue tout au long de l'évolution. Il est particulièrement élevé chez les insectes, mais diminue chez les mammifères, et devient absent chez les humains. Cela ne signifie pas que les humains ne peuvent pas réagir aux odeurs, mais plutôt que cela ne se qualifie pas comme une action phéromonale. »

– Guillaume Dumas, professeur et chercheur à l'Université de Montréal

Ainsi, la perception des signaux chimiques chez l'humain diffère des autres espèces. Mais alors, sans cet organe spécialisé, comment les odeurs parviennent-elles tout de même à influencer nos perceptions, et nos interactions sociales ?

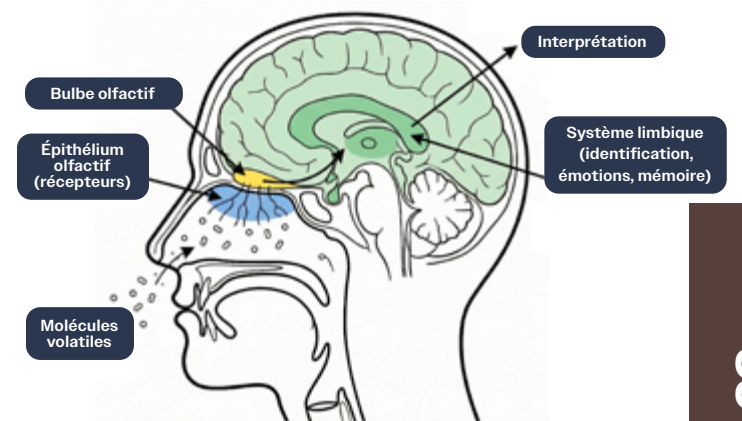
L'hypothèse d'une connexion personnelle à chacun

Aujourd'hui, la principale hypothèse soutenue par la communauté scientifique est celle du rôle d'une connexion odeur-mémoire émotionnelle. Lors d'un entretien avec Magalie Payne, professeure et chercheuse au laboratoire CoBTek de l'Université Côte d'Azur, elle nous a expliqué le fondement de cette hypothèse. En fait, la perception des odeurs commence lorsque des molécules volatiles se fixent aux récepteurs de l'épithélium olfactif dans le nez, déclenchant un signal électrique transmis au bulbe olfactif. Ce signal est ensuite traité et envoyé vers des régions du système limbique (comme celles liées à l'identification, aux émotions et à la mémoire), où l'odeur est interprétée consciemment selon le contexte personnel de l'individu.

« L'interaction entre l'odeur et l'émotion est donc immédiate »

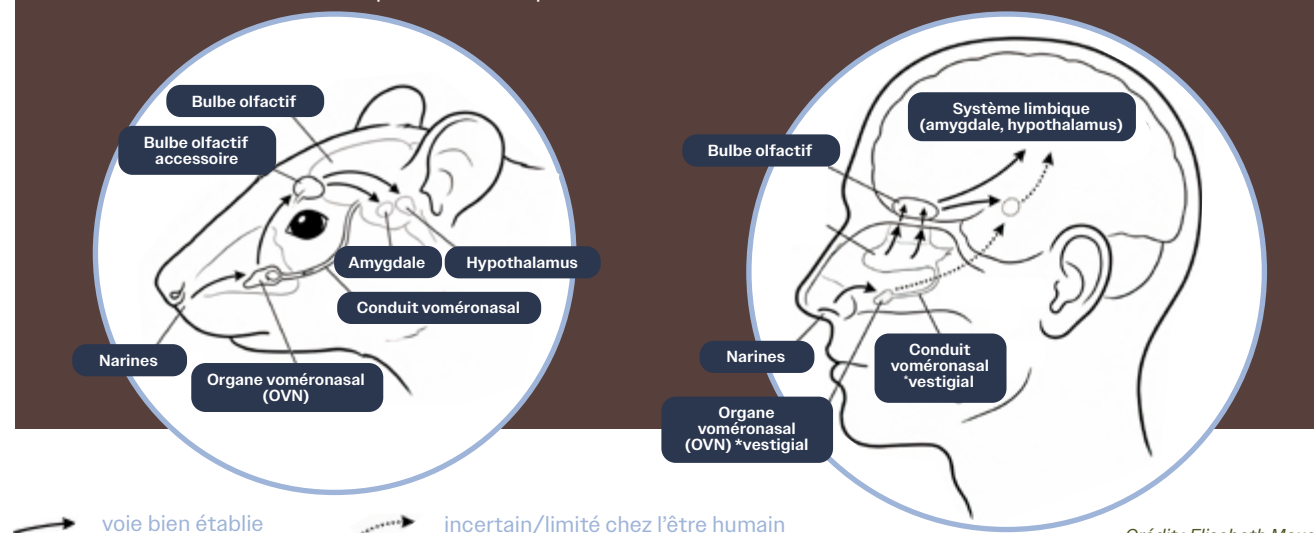
– Magalie Payne, professeure et chercheuse au laboratoire CoBTek de l'Université Côte d'Azur

Les relais neuronaux



L'organe voméronasal chez le rat et chez l'humain

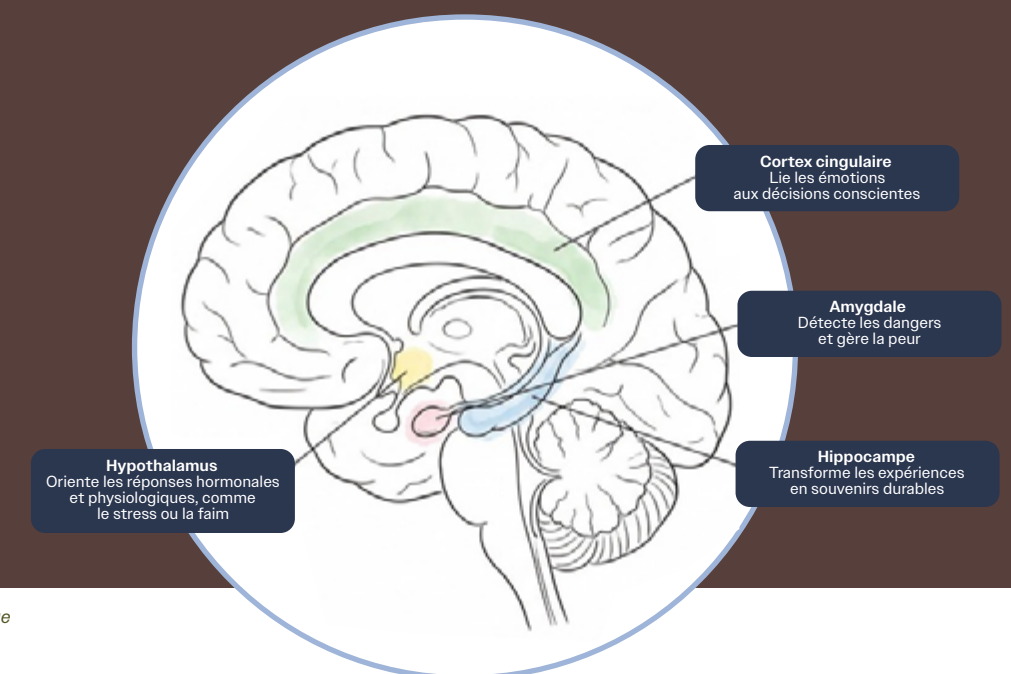
Chez le rat, c'est l'organe voméronasal qui détecte les phéromones, déclenchant, via le bulbe olfactif accessoire, des comportements réflexes et des réponses hormonales indispensables à la reproduction ou à l'établissement de hiérarchies sociales. Cela ne semble pas être le cas pour l'humain.



Crédit : Elisabeth Mouge

Le système limbique, le chef d'orchestre de nos émotions !

Le système limbique, souvent appelé le « cerveau émotionnel », est un réseau de structures cérébrales incluant notamment l'amygdale, l'hippocampe, l'hypothalamus, ou encore le cortex cingulaire. Contrairement aux autres sens, l'odorat se connecte directement au système limbique via le bulbe olfactif, expliquant pourquoi une odeur de gâteau peut instantanément nous ramener à l'enfance ou aux souvenirs de notre grand-mère.



Crédit : Elisabeth Mouge



Crédit image : Helena Lopes - Pexels

Le rôle des odeurs corporelles dans nos relations apparaît très tôt dans la vie

Les odeurs jouent ainsi un rôle particulier dans nos interactions, en raison de leur lien étroit avec nos émotions — un rôle dont les bases se posent très tôt, soit dès la vie in utero. En effet, dès le dernier trimestre, le fœtus développe une perception fonctionnelle et active des saveurs et odeurs du liquide amniotique, influençant d'ailleurs ses préférences après la naissance. Le nouveau-né découvrira alors une continuité olfactive transnatale. Dès les premiers instants de sa vie, il s'orientera dans son nouvel environnement grâce aux odeurs de son environnement. Vitale pour la survie du nourrisson, l'odeur maternelle agira alors comme sa première boussole biologique. Des structures spécialisées telles que les glandes aréolaires, situées sur le mamelon, émettent des signaux chimiques similaires à ceux retrouvés dans le liquide amniotique — une similitude qui éveillera, chez le nouveau-né, un sentiment de sécurité et de familiarité, l'orientant vers le sein. Ce comportement, ainsi largement médié par une association émotionnelle, dépasse le simple besoin nutritionnel. Il semble également jouer un rôle de régulateur émotionnel chez le nourrisson, atténuant ses pleurs, et réduisant sa perception de la douleur lors de procédures médicales stressantes. De récentes études ont démontré que la présence de l'odeur de la mère aidait notamment le nourrisson à catégoriser les visages et à le rassurer face à des visages menaçants, agissant ainsi comme un signal de sécurité.

Et cette perception n'est pas unilatérale : du côté de la mère, la perception de l'odeur de son enfant déclenche aussi des réponses neurologiques importantes. Pour une mère, l'odeur de son nourrisson agit comme une véritable récompense biologique, activant des zones cérébrales du plaisir qui

renforcent instantanément l'envie de prodiguer des soins et de rester physiquement proche de lui. Cette signature olfactive fonctionne aussi comme un signal instinctif, qui influence le cerveau maternel à protéger et nourrir son enfant, assurant sa survie dès ses premiers jours de vie.

Dans ce contexte, la séparation mère-enfant en contexte hospitalier peut constituer un stress physiologique majeur pour chaque partie. Des pratiques comme le *rooming-in* (qui consiste à garder le berceau du bébé à côté du lit de la mère) et le contact peau à peau sont alors essentielles, assurant une exposition constante du bébé aux signaux olfactifs de sa mère, et vice-versa.

Pourquoi les bébés sentent-ils aussi bon ?

La peau des nouveau-nés a une odeur particulière, principalement due au *vernix caseosa*, une cire protectrice sécrétée *in utero*. Ce vernix, riche en lipides neutres (comme les triglycérides et les céramides), en protéines antimicrobiennes et en eau, produit des composés volatils doux, évoquant la violette ou le savon frais, sans stéroïdes androgènes (comme l'androstadienone) qui émergent à la puberté et donnent des notes musquées ou acides. Cette signature olfactive est généralement renforcée par les glandes sébacées immatures et le résidu de liquide amniotique, contenant des aldéhydes et hydrocarbures légers qui diffusent un arôme lacté et frais. Biologiquement, cette odeur active le circuit de récompense cérébral (dopamine et ocytocine) chez les adultes, favorisant les soins parentaux via le système limbique, comme un signal évolutif de santé et de vulnérabilité.

Les odeurs corporelles changent à l'adolescence

Ceci étant dit, cette dynamique évolue radicalement à la puberté. Alors que l'odeur du nourrisson est universellement perçue comme agréable, la production d'hormones stéroïdiennes induite par l'activation de l'axe hypothalamo-hypophysio-gonadique — un circuit qui relie l'hypothalamus, l'hypophyse et les gonades qui s'active à la puberté afin d'induire le développement du système reproducteur — influence le métabolisme des adolescents, et leur odeur devient alors plutôt repoussante. Et généralement, ce changement s'accompagne d'une baisse de la préférence olfactive des parents. Ce mécanisme, connu sous le nom d'effet *Westermarck*, est destiné à prévenir l'inceste de manière inconsciente. Ainsi, la transition vers l'adolescence marque la fin du renforcement olfactif lié à l'enfance, favorisant l'autonomie et le détachement physique nécessaire au développement social de l'individu.

Parmi les hormones stéroïdiennes influençant l'odeur des adolescents, l'androstenedione, sécrétée dans la sueur, a notamment été étudiée pour ses effets sur l'attraction et le comportement. Si son mécanisme précis demeure flou, il prépare déjà le terrain à une nouvelle phase : l'exploration des odeurs au-delà du cercle familial.

Crédit image : Lazarev - Pexels



Crédit image : Ron Lach - Pexels

Le passage à l'âge adulte est marqué de découvertes et de rencontres

Chez le jeune adulte, cette ouverture s'amplifie. En quittant le nid parental, nous nous retrouvons confrontés à la découverte du monde « extérieur » — une expansion du monde individuel qui s'accompagne de son lot de nouveautés et, parallèlement, d'odeurs. Nous rencontrons de nouvelles personnes, diversifions nos habitudes de vie et découvrons de nouveaux environnements. Les odeurs deviennent alors des signaux clés de compatibilité sociale et génétique, influençant sympathie, confiance et attraction.

Porter attention aux odeurs fait partie d'un comportement directement relié à la survie et au choix de notre entourage. Elles peuvent signaler l'état de santé ou la présence d'infections, déclenchant des réponses d'évitement. Ces réponses s'inscrivent dans un ensemble de comportements développés au fil de l'évolution. En conséquence, notre comportement change suivant l'odeur de notre entourage. L'identité odorante influe sur la perception globale d'autrui. Ces goûts personnels sont d'ailleurs stables dans le temps et pour chaque individu.

Notre odeur, elle, est influencée par de nombreux facteurs. Par exemple, la génétique propre de l'individu fait varier non seulement l'expression et les excréments de son corps, mais aussi la composition de son microbiome épithélial. Audrey-Anne Leblanc, spécialiste du microbiome de la peau humaine, nous a d'ailleurs informés qu'il s'agit potentiellement du principal facteur influençant notre odeur corporelle. Dès la naissance, des milliards de bactéries colonisent chaque zone de notre peau et transforment les molécules sécrétées par nos pores, alors inodores, en composés odorants. Chaque partie du corps

ayant sa propre communauté bactérienne, cela explique pourquoi les aisselles sentent différemment des pieds, par exemple.

Les habitudes de vie jouent aussi un grand rôle dans la composition de notre odeur. Outre que les maladies, on peut y percevoir des indices communautaires : l'expérience d'un groupe de fumeurs est complètement différente suivant que l'on fume ou non. La nourriture consommée fait aussi varier l'image que l'on renvoie dans nos odeurs. La consommation régulière de viande rouge, par exemple, modifie les composés volatils excrétés par la peau, donnant à chacun une signature olfactive distincte. Les odeurs jouent également un rôle dans la contagion émotionnelle : le stress peut se propager dans un groupe à travers des composés chimiques contenus dans la sueur. Et cette identité odorante agit aussi sur nous-mêmes. Savoir que l'on sent bon renforce la confiance en soi, et participe à l'image renvoyée.

Ces signaux olfactifs prennent tout leur sens dans l'intimité. À mesure que l'on plonge dans les couches intimes d'un individu, la proximité physique augmente et s'accompagne d'une importance accrue des odeurs. Celles-ci participent alors à la reconnaissance des proches, via leurs signatures uniques, et favorisent les liens sociaux, qui se diversifient à l'âge adulte. Lors de contacts familiaux, la libération d'ocytocine et de dopamine renforce attachement et sécurité émotionnelle. Fait intéressant, cette importance des odeurs est partagée dans tout le règne animal !

Toutefois, les comportements sociaux en réponse aux odeurs varient grandement suivant l'espèce, l'environnement et l'individu. Il a été démontré que les femelles ont tendance à être plus sensibles aux odeurs que les mâles. Cette tendance s'explique par la majorité des comportements reproducteurs reposant sur leur choix. Ce rôle est lié à l'investissement élevé dans la reproduction, où maximiser les chances de survie de la descendance est essentiel. Pour une femelle, la dissimilarité génétique du mâle est un critère central. En choisissant un mâle génétiquement très différent d'elle, une plus grande variété de gènes est transmise à la descendance. Ce paramètre, qui façonne la diversité génétique, permet à un individu de présenter un meilleur système immunitaire, et ainsi d'avoir de meilleures défenses face aux maladies. L'information de cette diversité se traduit directement dans les odeurs émises. Des études démontrent que les femelles sont, inconsciemment, attirées par l'odeur de mâles portant un matériel génétique différent du leur.

Les femmes, en moyenne, présentent aussi une meilleure discrimination olfactive que les hommes, ce qui pourrait accentuer l'importance des indices dans leurs jugements sociaux et dans les critères attendus d'un partenaire romantique. À l'image d'autres organismes, des expériences montrent que les individus préfèrent souvent l'odeur de partenaires présentant des gènes différents des leurs. Toutefois, des résultats opposés démontrent que ce phénomène ne joue pas un rôle aussi déterminant que chez les animaux non-humains.

L'odeur du partenaire reste tout de même fortement importante, notamment dans la formation du couple. Les odeurs

corporelles reflètent l'état endocrinien. Des concentrations élevées de testostérone chez les hommes seraient associées à des odeurs plus attractives pour les femmes et les variations de progestérone et d'œstradiol au cours du cycle menstruel féminin modulent l'attractivité perçue de leur odeur. Ces préférences visent encore à trouver un patrimoine génétique qui avantagerait la progéniture. À l'inverse, une concentration de cortisol reliée au stress peut réduire l'attrait. La prise de contraceptifs oraux peut aller jusqu'à inverser ces préférences olfactives habituelles. La simulation d'un état de grossesse par les stéroïdes ingérés induit une attirance pour les odeurs génétiquement proches. Ce serait un mécanisme évolutif visant à se rapprocher d'individus apparentés en quête de protection et de soutien. Ce renversement peut avoir des conséquences concrètes sur une relation déjà établie. Ces dynamiques ne se limitent pas aux relations hétérosexuelles. L'orientation sexuelle agirait sur les préférences olfactives et les réponses neurologiques associées. Chez les hommes homosexuels, le traitement et l'appréciation des odeurs s'apparentent à ceux des femmes hétérosexuelles. L'importance de l'olfaction dans le choix de partenaire compatible se révèle d'ailleurs plus forte que chez les individus hétérosexuels. Ceci s'expliquerait par la probabilité plus faible de rencontrer un partenaire potentiel dans la population.

Il est toutefois important de souligner que la perception d'une odeur n'est jamais universelle : personne ne sent bon pour tout le monde. Le contexte relationnel et émotionnel joue un rôle majeur dans la perception de l'odeur et les émotions qui en découlent. Ainsi, bien que de nombreux facteurs dirigent principalement l'établissement des relations, l'odeur joue un rôle subtil en arrière-plan, induisant une certaine sélection sexuelle. Si la connexion « clique » avec quelqu'un, sa signature olfactive devient alors un facteur renforçant la relation, parfois sans qu'on ne s'en rende compte.

Qu'est-ce que la sélection sexuelle ?

Selon Charles Darwin, l'un des mécanismes principaux ayant dirigé l'évolution des nombreuses espèces animales est la sélection. Elle se divise en deux types : naturelle et sexuelle. Alors que la sélection naturelle confère un avantage aux phénotypes permettant la survie et la reproduction, la sélection sexuelle, elle, offre un avantage aux individus ayant des phénotypes qui augmentent leurs chances d'être choisis comme partenaire sexuel. Par exemple, chez les oiseaux, les mâles ayant les moins belles couleurs et les moins beaux chants sont négativement sélectionnés sexuellement, parce que les femelles choisissent de ne pas s'accoupler avec eux malgré leurs phénotypes leur permettant de vivre aussi longtemps que les autres. Lorsque nous choisissons un partenaire sexuel, que ce soit pour son odeur corporelle, son apparence ou son athlétisme, nous participons à l'évolution par sélection sexuelle, et influençons la génétique des prochaines générations.

Puis, les rencontres se solidifient... ou pas

En effet, au-delà de la formation du couple, les partenaires sont également capables de reconnaître leurs odeurs de manière fiable. Cette reconnaissance nourrit un sentiment de sécurité et d'apaisement dû à la proximité d'un être connu. Une appréciation de l'odeur du partenaire est associée à une plus grande satisfaction relationnelle et est donc primordiale. Inversement, une dégradation de cette appréciation peut mener à une dégradation des relations du couple. Aussi, une rupture peut altérer durablement la perception de l'odeur d'un ancien partenaire, la transformant en signal d'évitement. Ainsi, la relation et l'odeur s'influencent mutuellement tout au long du parcours amoureux.

L'amour nous fait-il sentir bon ?

Imaginez-vous enlacer votre partenaire après une longue journée. Son odeur corporelle naturelle — un mélange unique d'acides gras volatils, de stéroïdes androgènes (comme l'androstadiénone) et de métabolites bactériens — vous semble réconfortante, alors qu'elle pourrait rebuter un inconnu. Cet effet repose sur un biais olfactif positif. La présence d'un être bien-aimé active naturellement la libération d'ocytocine et de dopamine, sensibilisant le système limbique. L'amygdale, normalement programmée pour détecter les menaces olfactives (thioalcools soufrés, amines rances) est alors inhibée, tandis que le noyau accumbens (autre petit relais du système limbique) amplifie les notes familières positives de cette signature, les rendant aussi agréables qu'un parfum fait sur mesure pour vous.

Les personnes âgées sentent-elles moins bien ?

Enfin, à partir de la cinquantaine, le système olfactif commence alors à vivre un changement progressif menant à son dysfonctionnement. L'épithélium olfactif subit une perte de neurones sensoriels matures plus l'âge avance. Ces neurones vont progressivement être remplacés par un épithélium respiratoire, réduisant alors la quantité de neurones olfactifs fonctionnels. Les seuils de détection vont donc augmenter, causant l'absence ou des problèmes d'interprétation de certaines odeurs, impactant la qualité de la perception, et résultant en l'interprétation d'odeurs plus faibles, parfois erronées et difficiles à différencier. En plus de cette perte naturelle, des éléments environnementaux comme l'exposition répétée à des fumées toxiques, ou encore des dommages crâniens, peuvent impacter l'état et la santé des neurones. Tous ces impacts physiologiques vont donc modifier la perception sensorielle des odeurs chez les personnages âgés.

Au niveau relationnel, cette différenciation sensorielle entre les individus crée un impact émotionnel et cognitif. Une corrélation directe entre le dysfonctionnement olfactif et les risques de développer des troubles cognitifs, tels que la dépression ou même certaines maladies neurodégénératives telles que le Parkinson et l'Alzheimer. Ces maladies vont avoir un impact direct sur les relations interpersonnelles. Mais comme mentionné par la spécialiste Magalie Payne, de nouvelles techniques telles que l'entraînement olfactif sont en cours de développement et pourraient permettre de minimiser, voire annuler, les effets négatifs du vieillissement sur le système olfactif.



Crédit image : Michelle Henderson - Unsplash

Bref...

De ce fait, malgré que l'organe voméronasal soit hors d'usage chez les humains et qu'il soit incorrect de parler de phéromones dans un contexte anthropique, les stimuli olfactifs émis par les personnes de notre entourage peuvent bel et bien influencer ce que l'on pense d'eux, et notre comportement vis-à-vis d'eux. Ces stimuli nous confèrent des avantages tout au long de notre vie, tels que l'orientation des nourrissons vers les seins de leurs mères, la signalisation d'un état de santé affecté, la recherche d'un partenaire qui nous convient et même le maintien de capacités cognitives. En laissant les odeurs corporelles influencer notre choix de partenaires lorsque vient le temps de fonder une famille, nous participons donc tous à la sélection sexuelle, l'un des mécanismes dirigeant l'évolution des espèces. Il serait ainsi intéressant de se demander si l'absence du sens de l'odorat perturbait nos liens sociaux, comme le suggèrent certaines études ? Une piste fascinante pour la suite de la recherche.

Par Pierre-Gabriel Dauray,
Liliane Morin,
Nicole Kozhin,
et Émilie Bergua

Sommeil perturbé : et si vos bactéries intestinales en étaient la cause ?



Crédit image : Pierre-Gabriel Dauray

Chaque nuit, lorsque nous nous plongeons dans le sommeil, notre cerveau se met en action pour se réorganiser, se nettoyer et se régénérer. Malgré son importance pour notre santé et notre bien-être, ce processus vital reste étonnamment fragile : le stress, la lumière bleue des écrans, les maladies et les changements de rythme de vie peuvent perturber ce cycle. Non seulement cela, mais des découvertes émergentes suggèrent que notre sommeil pourrait aussi être influencé par des partenaires surprenants : les milliards de microorganismes qui peuplent l'intestin, appelés « microbiote intestinal ».

Le microbiote intestinal semble jouer un rôle clé dans la régulation de notre sommeil, modifiant les substances chimiques de notre cerveau, ainsi qu'en influençant notre rythme circadien et notre système immunitaire. Une communication constante entre notre corps et ces microorganismes soulève des questions fascinantes sur la manière dont notre santé et notre sommeil peuvent être améliorés : comment le microbiote et le sommeil interagissent-ils ensemble ? Et en quoi ces découvertes pourraient-elles un jour nous aider à améliorer la qualité de notre sommeil et de notre bien-être général ? Cette thématique éveille l'intérêt aussi bien dans le monde de la recherche que dans le milieu clinique.

Qu'est-ce que le sommeil ?

Le sommeil est un état naturel et réversible au cours duquel notre conscience de l'environnement diminue. Contrairement à l'idée d'un simple moment de repos, le cerveau reste très actif, souligne Mme Lucie Danen, infirmière. Pendant que nous dormons, il coordonne des réseaux de neurones, libère des messagers chimiques, et ajuste les hormones.

Présent chez presque toutes les espèces animales, le sommeil est essentiel. Chez l'être humain, il influence directement la mémoire, la concentration, les émotions, le métabolisme et les défenses immunitaires. Sa qualité dépend aussi fortement de notre mode de vie : le stress, la lumière artificielle ou l'alimentation peuvent le perturber. De nombreuses recherches tentent encore de comprendre tous les mécanismes.

« **Le sommeil, c'est encore quelque chose de mystérieux.** »

– Lucie Danen, infirmière en troubles du sommeil au CUSM

Pour approfondir...

Les phases du sommeil

Le sommeil est composé de la phase non paradoxale, puis de la phase paradoxale. L'alternance de ces phases forme un cycle d'une durée approximative de 90 minutes, et se répète plusieurs fois au cours de la nuit.

Le **sommeil non paradoxal** possède 3 phases. Il commence par une phase d'endormissement, où l'activité cérébrale ralentit et où l'on devient progressivement moins sensible à l'environnement. Il est suivi d'un sommeil léger impliqué dans la consolidation de la mémoire. Finalement, il se termine par un sommeil lent profond où le corps récupère physiquement, le métabolisme se régule et le cerveau se restaure.

Le **sommeil paradoxal**, dont l'activité cérébrale est proche de l'éveil, fait survenir la plupart des rêves. Il joue un rôle dans la gestion des émotions et dans la capacité du cerveau à apprendre et à s'adapter.

Le sommeil est contrôlé par deux mécanismes complémentaires.

Le premier, appelé homéostasie du sommeil, correspond à la pression de sommeil : plus nous restons éveillés longtemps, plus le besoin de dormir augmente.

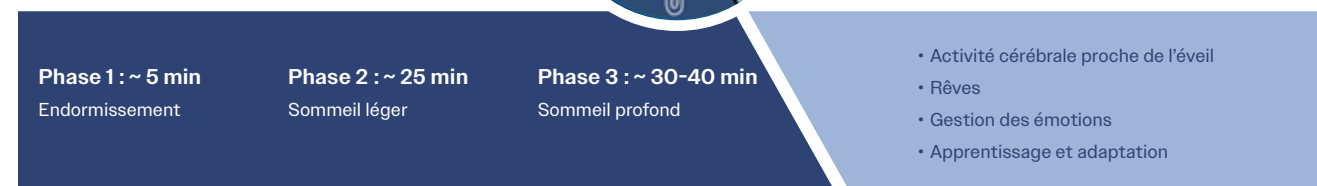
Le second est le rythme circadien, une horloge biologique interne qui dure environ 24 heures et qui est principalement synchronisée par la lumière. Cette horloge détermine les moments de la journée où l'organisme est naturellement plus alerte ou, au contraire, plus enclin au sommeil.

Lorsque ces deux systèmes sont bien synchronisés, le sommeil est plus stable et plus réparateur.

Quand le sommeil se dérègle

Les troubles du sommeil peuvent se manifester de différentes manières. L'un des plus connus est l'insomnie. Elle se définit par la présence d'au moins trois épisodes par semaine durant lesquels l'endormissement ou le retour au sommeil prennent plus de trente minutes. Lorsque cette situation persiste pendant plus de trois mois, on parle alors d'insomnie chronique.

D'autres troubles sont également fréquents. Les perturbations du rythme circadien correspondent à un décalage entre l'horloge biologique interne et les horaires de sommeil. La fragmentation du sommeil, qui est une forme d'insomnie, se



Sommeil non paradoxal

Sommeil paradoxal ~ 15-20 min

Crédit image : Nicole Kozhin

caractérise par des réveils répétés au cours de la nuit, interrompant les cycles normaux du sommeil.

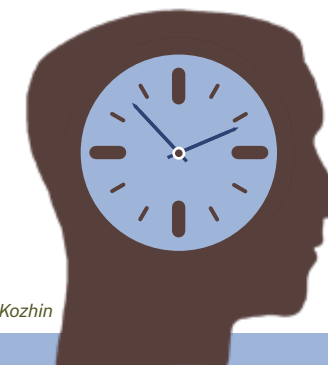
À long terme, les troubles du sommeil ne sont pas sans conséquences pour la santé. Un sommeil insuffisant, irrégulier ou fragmenté est associé à une augmentation du risque de développer plusieurs maladies chroniques, notamment la démence, l'obésité, l'hypertension artérielle, le diabète et les maladies cardiovasculaires.

« **Une personne qui fait de l'insomnie sur une base chronique [...] peut, à long terme, devenir plus à risque de développer une dépression. Donc, c'est important de prendre ça au sérieux.** »

– Charles M. Morin, PhD, professeur titulaire en psychologie à l'Université de Laval



Crédit image : Liliane Morin



Crédit image : Nicole Kozhin

Le saviez-vous ?

Combien d'heures pour bien dormir ?

Chez les adultes âgés de 18 à 64 ans, il est généralement conseillé de dormir entre **7 et 9 heures** par nuit. Dormir moins ou excessivement plus que cette fourchette pourrait être associée à divers problèmes de santé.

Toutefois, au-delà de la durée du sommeil, la **régularité des horaires de coucher** et de lever demeure un facteur essentiel. Selon Mme Danen, infirmière, même durant la fin de semaine, un décalage supérieur d'une heure par rapport à l'heure habituelle du coucher n'est pas recommandé. En effet, il peut perturber l'équilibre du rythme circadien, mais aussi d'autres systèmes de l'organisme, dont le microbiote intestinal.

Le microbiote intestinal : un écosystème en nous

Pour comprendre les liens possibles entre le sommeil et le microbiote, il convient d'abord de définir ce dernier. Le microbiote correspond à l'ensemble de microorganismes vivant dans un environnement donné. Chez l'être humain, ils peuvent coloniser différentes surfaces et cavités du corps, y compris l'intérieur de certains organes. Ceux qui résident dans l'intestin correspondent au microbiote intestinal, qui est constitué en majorité de bactéries, mais aussi des virus et champignons.

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, les microorganismes ne sont pas tous nuisibles ! Au contraire, une grande partie d'entre eux exerce des fonctions bénéfiques.

« **Il y a plus que des milliards de bactéries dans l'intestin. Puis, chaque bactérie, elle joue un rôle à un moment donné. Soit elle va dégrader des protéines, des molécules pour faire des fibres, soit elle va produire certaines molécules.** »

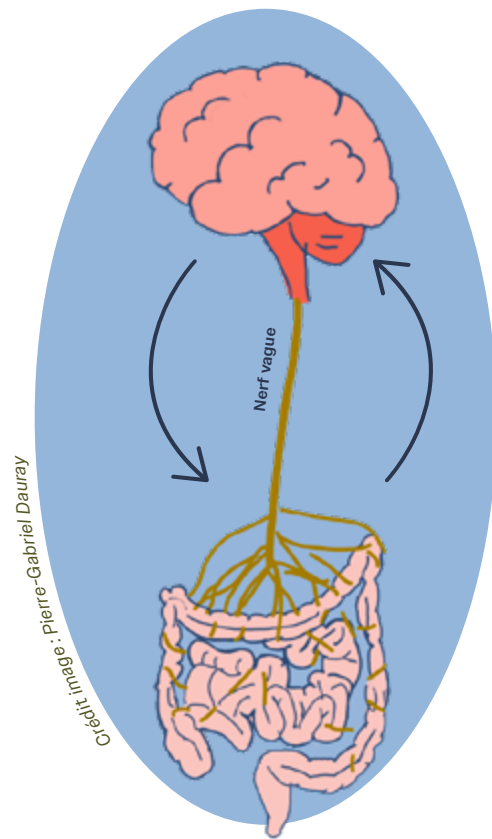
– Guy Rousseau, PhD, professeur titulaire en pharmacologie à l'UdeM

L'intestin et le cerveau : un dialogue permanent

L'intestin et le cerveau communiquent entre eux de manière bidirectionnelle, et cette liaison est couramment nommée l'« axe intestin-cerveau ». Ces échanges se produisent de trois manières : par l'intermédiaire des hormones, du système immunitaire et des nerfs, notamment le nerf vague. Ce dernier est un grand nerf du corps qui est responsable des fonctions de repos et de digestion.

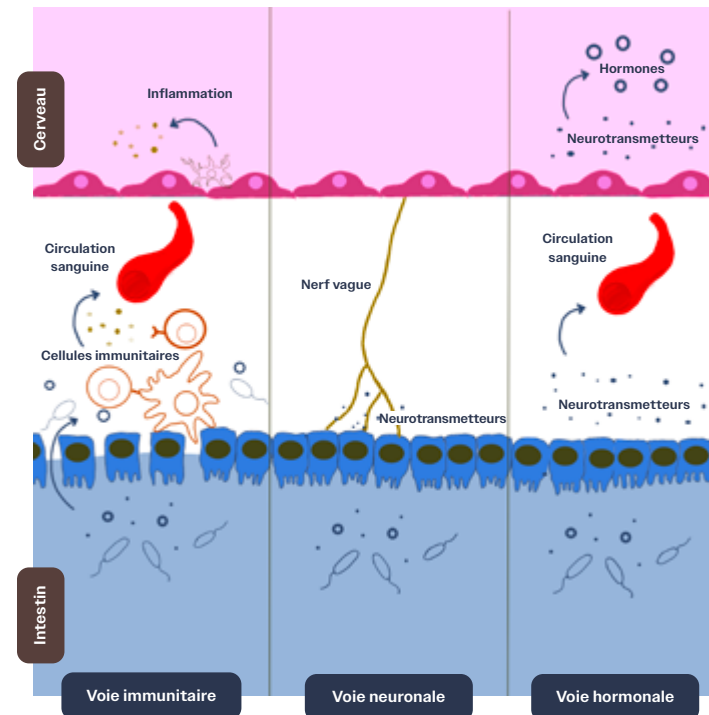
L'intestin à son propre système nerveux, le système entérique, qui est indépendant du cerveau. Il est capable de déclencher des contractions intestinales facilitant la progression des aliments en cours de digestion. Le cerveau, en recevant des informations provenant du système nerveux entérique, agit comme un véritable centre de régulation et coordonne les réponses appropriées selon la situation actuelle du corps.

Axe intestin-cerveau



Ce qui est étonnant, c'est que le microbiote intestinal participe, lui aussi, à cette communication ! Il contribue activement à la modulation de nombreux processus physiologiques et peut influencer différents aspects du fonctionnement de l'organisme, y compris le sommeil. Pour ce faire, le microbiote utilise les mêmes trois voies de signalisation : nerveuses, hormonales et immunitaires.

3 voies axe intestin-cerveau



Crédit image : Pierre-Gabriel Dauray

Les métabolites du microbiote : des influenceurs du sommeil

Tout comme nous, le microbiote intestinal produit ses propres métabolites, qui sont des sous-produits issus de ses activités métaboliques. Par exemple, ils en forment lorsqu'ils « digèrent » les aliments que nous ingérons. Ces molécules sont ensuite absorbées par l'intestin et atteignent la circulation sanguine.

Les métabolites peuvent avoir une panoplie d'effets sur notre corps, que ce soit positif ou négatif. Par exemple, ils peuvent interagir avec le nerf vague, moduler la sécrétion des cellules intestinales ou influencer l'expression de gènes impliqués dans la régulation du cycle veille-sommeil.

Certains métabolites affectant notre corps sont directement produits par le microbiote, tandis que d'autres sont transformés par la suite. Les métabolites les plus importants régulant notre sommeil sont la sérotonine, la mélatonine, le GABA et les acides gras à chaînes courtes. Jetons un coup d'œil à chacun d'entre eux...

Sérotonine

La sérotonine est un neurotransmetteur, c'est-à-dire une molécule chimique permettant la communication entre les neurones. Une des nombreuses fonctions de la sérotonine est la régulation du cycle veille-sommeil.

Pour approfondir...

Une horloge biologique propre au microbiote intestinal

Environ 10 % des espèces du microbiote intestinal fluctuent selon un rythme cyclique jour-nuit, comme notre propre horloge biologique ! Ces variations sont essentielles à la régulation de notre métabolisme et à l'équilibre du microbiote.

Une modification de la composition et de la rythmicité du microbiote peut affecter la production de certains métabolites régulant notre cycle circadien.

« Ce qui me fait rire, c'est qu'il y a dix ans, on disait que le microbiote ne bougeait pas. Et maintenant, on parle de cycle circadien... donc ça bouge ! »

— Guy Rousseau, PhD, professeur titulaire en pharmacologie à l'UdeM

Certains types de bactéries sont capables de produire de la sérotonine, bien que cette contribution ne représente qu'une petite fraction de la sérotonine totale de l'organisme. En effet, environ 90 % de la sérotonine est produite dans l'intestin par les cellules entérochromaffines, des cellules sécrétrices spécialisées de l'intestin. D'ailleurs, le microbiote peut augmenter et contrôler le taux de synthèse de ces cellules, tandis que des microorganismes néfastes pourraient le diminuer.

Une baisse de sérotonine est souvent associée à un manque de sommeil, car elle est un précurseur de la mélatonine.

Mélatonine

La mélatonine est une hormone libérée par le cerveau, principalement en réponse à l'obscurité. M. Morin spécifie que la sécrétion de cette molécule débute en fin de soirée et atteint un maximum autour de 2 h du matin avant de décliner progressivement. La mélatonine est utile pour signaler à l'organisme qu'il est temps de dormir, induisant une pression de sommeil. C'est la raison pour laquelle on la nomme souvent « l'hormone du sommeil ».

GABA

De plus, certaines bactéries peuvent influencer la qualité du sommeil en produisant le GABA, un autre neurotransmetteur. Elle joue aussi un rôle dans la production de la mélatonine. De plus, elle inhibe les neurones responsables de l'éveil, afin de favoriser l'activité de ceux responsables du sommeil.

Acides gras à chaînes courtes (AGCC)

Finalement, certaines bactéries « digèrent » les fibres alimentaires dans le gros intestin pour produire principalement des AGCC. Ceux-ci influencent la sécrétion de sérotonine et de GABA, favorisant ainsi une prolongation de la durée du sommeil et contribuant potentiellement à la régulation du cycle circadien.

Antagonistes du sommeil

À l'inverse de la sérotonine, de la mélatonine, du GABA et des AGCC, d'autres molécules sont responsables du maintien de la vigilance en activant les neurones de l'éveil. Par exemple, on retrouve la dopamine, l'histamine et la noradrénaline.

Il y a donc un mécanisme « d'interrupteur biologique », où il y a une alternance entre l'activation des neurones d'éveil et ceux du sommeil.

Immunité, microbiote et sommeil : un trio étroitement lié

L'intestin présente une importante ligne de défense contre les microorganismes néfastes.

La première méthode de protection réside dans l'entreposage d'un grand nombre de cellules immunitaires. Ces organes sont d'ailleurs ceux qui en contiennent le plus, créant un environnement où il y a beaucoup d'interactions entre le microbiote et les cellules immunitaires. Ainsi, la maturation de celles-ci est stimulée et leur spécialisation est favorisée, ce qui leur permet de réguler plus efficacement le microbiote.

La deuxième ligne de défense repose sur le maintien de l'intégrité des jonctions serrées entre les cellules épithéliales qui tapissent la surface des intestins. Grâce à cette étanchéité, les jonctions sont responsables du rôle de « barrière intestinale » ou de « bouclier », empêchant l'entrée d'étrangers.

Le microbiote joue également un rôle de protection. En effet, il contribue au maintien de l'intégrité de cette barrière intestinale. Aussi, certains microorganismes peuvent produire des substances antibactériennes ou des métabolites anti-inflammatoires.

Plusieurs facteurs peuvent réduire l'intégrité de la barrière intestinale, notamment un manque de sommeil, un dérèglement du cycle circadien ou un sommeil fragmenté. Par exemple, les hormones sécrétées lors d'un sommeil insuffisant peuvent briser des jonctions serrées entre les cellules épithéliales intestinales.

Lorsque la barrière intestinale est affaiblie, ou plus perméable, des composants microbiens toxiques peuvent pénétrer dans les vaisseaux sanguins. Un exemple serait les lipopolysaccharides (LPS). Ils sont des composants de la membrane externe

de certaines bactéries, telles qu'E. coli, qui sont omniprésents dans l'intestin. M. Rousseau explique que leur libération est due à une dégradation de bactéries par les cellules immunitaires intestinales. Chez une personne en santé, il y a un faible taux de LPS dans la circulation sanguine. Cependant, lorsque la barrière est plus perméable, un plus grand nombre de LPS peuvent être absorbés dans le sang, expliquant alors leurs effets néfastes. Alors, le système immunitaire devient hautement sollicité pour essayer de combattre l'infection, provoquant de l'inflammation. Puis, dans certains cas, ils peuvent franchir la barrière hémato-encéphalique, un filtre biologique hautement sélectif séparant le sang du cerveau. À cet endroit, les LPS interagissent avec des microglies, qui sont des cellules dans le cerveau ayant des fonctions immunitaires. Cela provoque de l'inflammation généralisée et l'altération de l'activité de ces microglies, ce qui peut contribuer à des problèmes neurologiques et de sommeil.

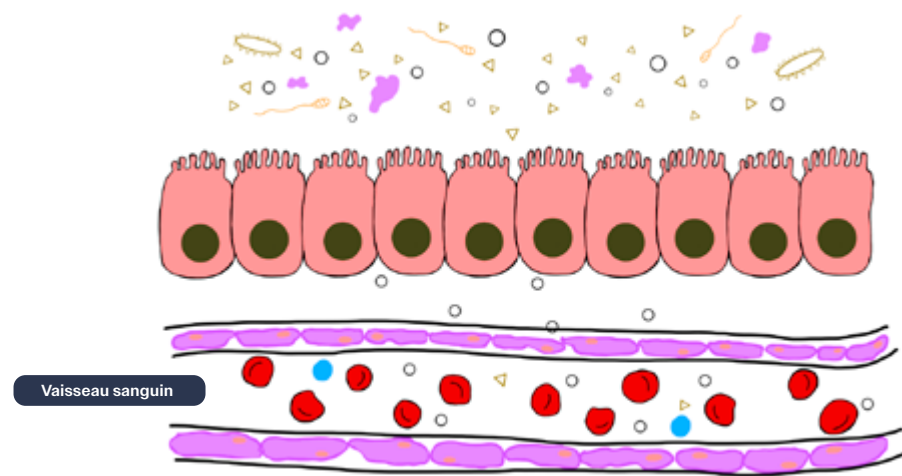
Pour approfondir...

L'influence des acides gras à chaînes courtes (AGCC) sur l'immunité

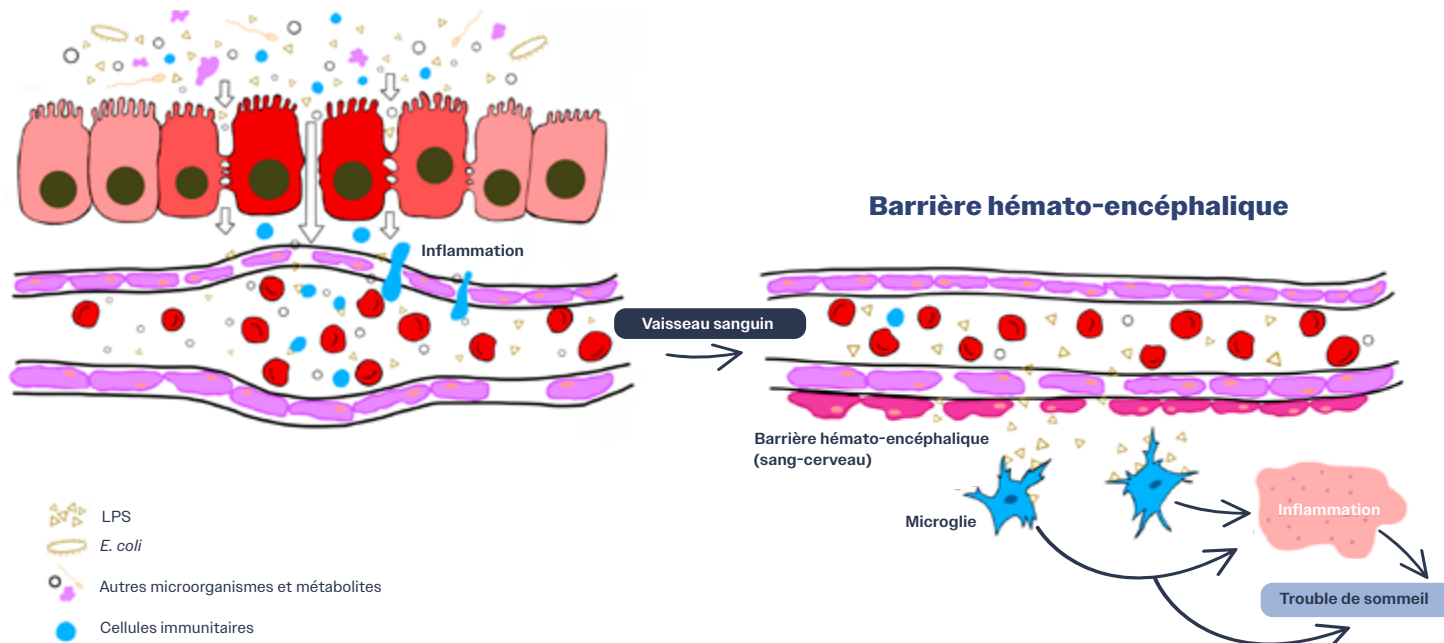
Les AGCC augmentent aussi l'intégrité de la barrière intestinale, mais aussi de la barrière hémato-encéphalique. Par conséquent, une faible concentration peut causer l'inflammation dans le cerveau ou la moelle épinière.

Ils ont aussi des propriétés anti-inflammatoires. Certains AGCC diminuent l'inflammation chronique qui aide de réparer les dommages causés par un manque de sommeil.

Barrière intestinale normale



Barrière intestinale plus perméable



Crédit image : Nicole Kozhin

Cependant, la qualité du sommeil influe également sur la capacité du système immunitaire à fonctionner de manière optimale. En effet, un manque de sommeil chronique entraîne une réduction de 1 à 4 fois la quantité de molécules anti-inflammatoires, tout en augmentant de 1 à 8 fois celles qui favorisent l'inflammation chronique. Un manque de sommeil va aussi contribuer à la colonisation accrue de bactéries pathogènes dans l'intestin.

« C'est prouvé scientifiquement : les troubles du sommeil sont liés, généralement, avec l'inflammation dans le corps. »

– Lucie Danen, infirmière en troubles du sommeil au CUSM

De manière réciproque, l'inflammation et les infections induisent plus de sommeil : vous aurez probablement remarqué que vous êtes davantage fatigués lorsque vous êtes malades.

Cependant, les mécanismes sous-jacents du lien entre le sommeil, l'inflammation et le microbiote sont encore en étude.

Le microbiote : la prochaine frontière de la recherche sur le sommeil

Bien que la thérapie cognitivo-comportementale soit la référence clinique recommandée pour l'insomnie, l'usage de probiotiques s'impose progressivement. Le but serait de moduler le microbiote intestinal afin d'améliorer le sommeil. Leur utilisation clinique nécessite cependant encore des validations rigoureuses. Les probiotiques pourraient ainsi être utilisés seuls ou en concert avec des thérapies approuvées.

Il y a certaines recherches sur les probiotiques. Cependant, du côté clinique, M. Rousseau spécifie ceci : « Il y a une certaine réticence encore des médecins, mais [il y en a] quelques-uns qui commencent à y croire, parce qu'ils commencent à voir quelques indications que ça peut être intéressant. »

Une telle perspective ouvre la voie à des traitements plus personnalisés, où cerveau et intestin seraient envisagés comme deux composantes d'un même réseau biologique.

« Le sommeil, c'est vraiment, je dirais, le 3^e pilier d'une santé globale. On sait que l'alimentation est importante, l'activité physique est importante, mais le sommeil, c'est clairement aussi important que ces deux autres composantes-là. »

– Charles M. Morin, PhD, professeur titulaire en psychologie à l'Université de Laval

Présentation de nos spécialistes



Lucie Danen : C'est par son désir d'améliorer la santé des gens que Mme Danen a choisi la profession d'infirmière. Depuis deux ans et demi, elle fait partie de l'équipe de la Clinique des troubles du sommeil au Centre universitaire de santé McGill (CUSM). Elle traite plusieurs cas, dont les principaux sont l'apnée du sommeil obstructive, l'insomnie et la narcolepsie. Mme Danen s'intéresse aux études menées par un collègue médecin qui teste l'évolution de la flore intestinale avant et après le traitement par CPAP, couramment utilisé contre l'apnée du sommeil.

Dr Charles M. Morin, PhD : Il est professeur titulaire à l'école de psychologie à l'Université de Laval, et titulaire de la Chaire de recherche du Canada en médecine comportementale du sommeil. Il est également fondateur du Centre d'étude des troubles du sommeil (CETS). Ainsi, Dr Morin s'intéresse aux aspects psychologiques des troubles du sommeil, et plus particulièrement de l'insomnie, car c'est ce qui touche le plus de personnes. Depuis quelques années, il travaille sur le développement d'approches thérapeutiques, psychologiques et pharmacologiques.



Dr Guy Rousseau, PhD : En plus d'être un professeur titulaire au département de pharmacologie et physiologie à l'Université de Montréal (UdeM), Guy Rousseau est un chercheur régulier spécialisé sur les maladies cardiovasculaires chroniques, et il est directeur adjoint à la recherche fondamentale du centre de recherche de l'hôpital Sacré-Cœur de Montréal. Il a testé l'effet de probiotiques sur les symptômes dépressifs post-infarctus du myocarde chez les rats, et à sa surprise, c'est un traitement qui a très bien fonctionné.



Par Rose Comte-Marcil,
Pénélope Haldimann-Mercille,
Maya Héon
et Nadxieli Jareda-Hernandez



Image conçue avec [BioRender.com](https://www.biorender.com)

L'industrie des *probiotiques* et le standard *impossible*

Imaginez votre intestin comme un jardin diversifié. Pour qu'il puisse s'épanouir, faudrait-il planter quelques graines à l'aveuglette (les probiotiques) ou faudrait-il le préparer avec un terreau fertile (les prébiotiques) ? Il est normal de vouloir entretenir notre microbiote intestinal à l'aide de ces suppléments, oubliant qu'il héberge déjà une vaste communauté vivante et capricieuse. Trop souvent, les probiotiques sont présentés comme des sauveurs universels, alors que la science expose une réalité bien plus nuancée. Plongeons dans l'univers fascinant de ces microorganismes pour comprendre pourquoi la réalité est bien plus complexe que l'idée de simplement consommer du yogourt riche en probiotiques.

Le microbiote intestinal, c'est quoi déjà ?

Dans une démarche d'optimisation de soi, il est naturel de vouloir définir un point de départ et un objectif clair. Cependant, lorsqu'il est question de suppléments, tels que les probiotiques, connaissons-nous réellement ce que nous cherchons à modifier au sein de notre organisme ? Autrement dit, quel est le microbiote intestinal, soi-disant affecté par ces probiotiques ?

C'est un ensemble d'environ 100 trillions de bactéries, de virus, de champignons, et de protozoaires qui colonisent le tractus gastro-intestinal. Sans surprise, il contient la plus grande population microbienne sur tout le corps et influence notre santé par diverses fonctions !

Comprendre ses fonctions permet de mieux saisir à la fois l'étendue de son influence et les limites de ce qu'il peut accomplir. Alors, concrètement, qu'est-ce que nous procure cette communauté microbienne invisible et sur quels aspects de notre santé peut-elle réellement agir ? Commençons au lieu de résidence de ces microorganismes : le système digestif. En effet, sans l'aide de ses résidents microscopiques, l'humain ne peut pas digérer certains glucides, dont les fibres, certains sucres et certains amidons. De plus, certaines bactéries dans l'intestin, comme *Bifidobacterium*, *Lactobacillus* et *E. coli*, synthétisent des vitamines K et B, et des acides aminés. Même les produits de la digestion microbienne, comme le propionate et le butyrate, aident l'humain !

Parmi les bienfaits de ces nombreux métabolites, le propionate permet d'inhiber le signal de faim et le butyrate aide le

mouvement intestinal, tout en soutenant la perméabilité de la barrière entérique. Additionnellement, ce dernier réduit les risques de cancer en induisant la mort de cellules malignes intestinales. Il stimule aussi la production d'anticorps qui aident à réduire l'inflammation. Ça serait pourquoi les personnes affectées de la maladie du côlon irritable ont de faibles niveaux de butyrate et des bactéries qui le produisent. Ainsi, les bienfaits du microbiote vont bien au-delà du système digestif. Leurs fonctions assistent même notre métabolisme, notre système nerveux et notre système immunitaire. Il est clair que le microbiote intestinal offre de multiples fonctions bénéfiques pour l'organisme.

Le butyrate, un superhéros qui travaille dans l'ombre

En se nourrissant de fibres, les bactéries produisent du butyrate. Le butyrate et ses nombreuses propriétés impressionnantes surpassent les barrières du gros côlon.

Son activité anti-inflammatoire prévient même l'apparition et la progression de maladies, comme le Parkinson. Inversement, les gens atteints de cette maladie neurodégénérative manquent habituellement de butyrate.

C'est une autre bonne raison d'ajouter des fibres diététiques à son assiette !

ne connaît pas l'identité, et que, même si on les connaissait, on ne saurait pas nécessairement ce qu'elles font. La diversité du microbiome, par exemple, est souvent considérée comme un indicateur d'une bonne santé intestinale, car elle reflète un équilibre entre les microorganismes favorables et ceux généralement délétères ou opportunistes. Un microbiome diversifié et équilibré fonctionne comme une équipe où chaque membre, grâce à sa richesse génétique, apporte un large éventail de compétences tout en coexistant harmonieusement. Si une espèce disparaît, une autre dotée de capacités fonctionnelles similaires peut assurer la relève. Cette redondance fonctionnelle, soit la capacité de différentes espèces bactériennes à assurer les mêmes fonctions, constitue un atout majeur : elle rend l'écosystème plus robuste et plus adaptable face aux imprévus. L'essentiel n'est pas le nombre d'espèces présentes, mais la capacité collective de la communauté microbienne à assurer les fonctions indispensables au maintien de la santé de l'hôte.

La résilience constitue un autre critère essentiel. Elle désigne la capacité du microbiome à se remettre d'une perturbation à court terme. Afin de résister aux fluctuations quotidiennes, un microbiome résilient peut retourner rapidement à un état d'équilibre et à un fonctionnement harmonieux.

En revanche, une exposition prolongée à certains perturbateurs, comme une utilisation prolongée d'antibiotiques, peut entraîner une altération chronique du microbiome, nommée « dysbiose ». Une dysbiose (un déséquilibre problématique du

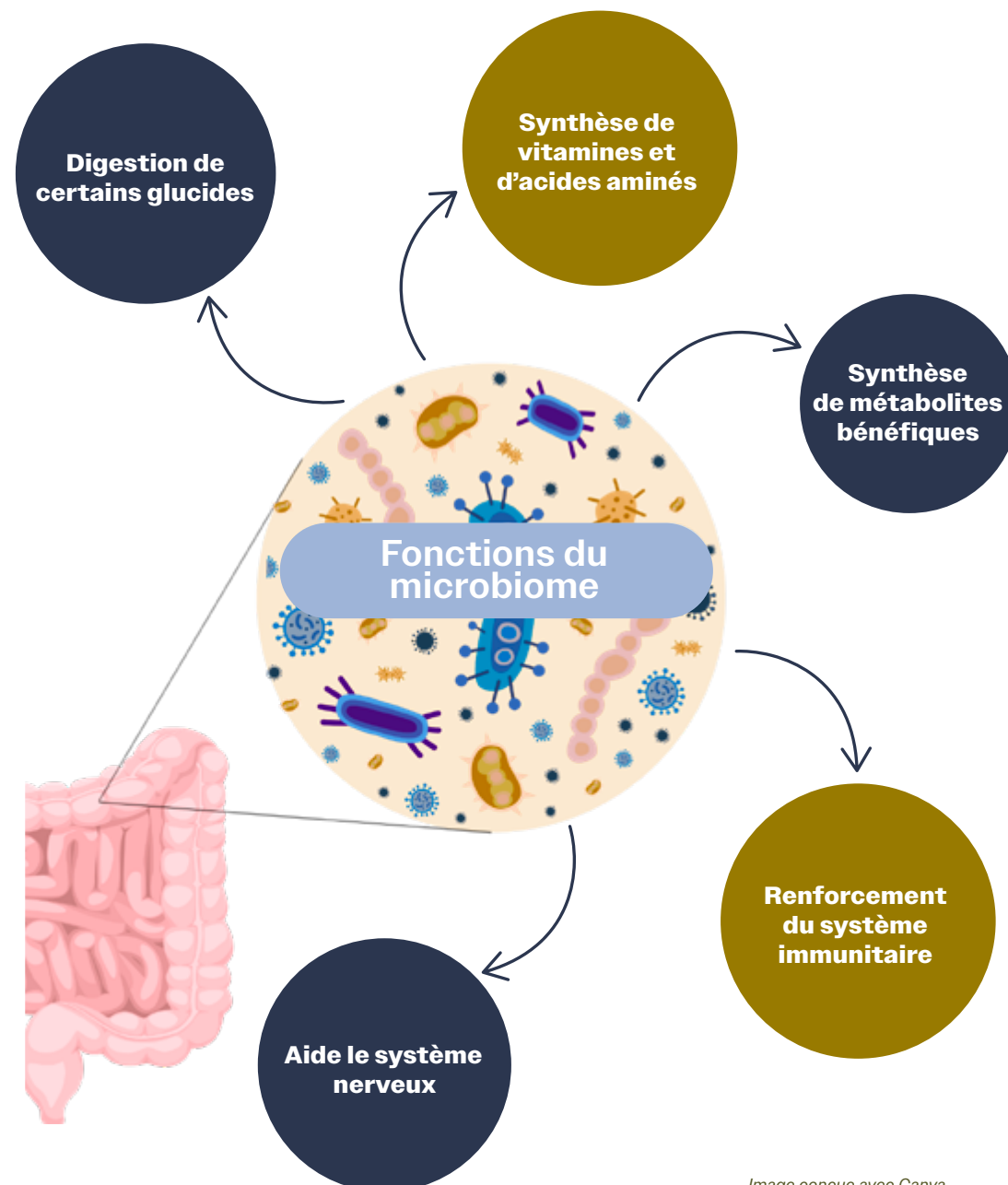


Image conçue avec Canva

Le défi de définir un microbiote intestinal sain

Pendant longtemps, l'évaluation de la santé du microbiote reposait principalement sur l'analyse de sa composition : quelles espèces y sont présentes, et en quelles proportions ? L'approche du microbiote, centrée sur qui compose la communauté, s'est toutefois révélée insuffisante. La simple présence ou absence d'une bactérie donnée dans cet écosystème ne permet pas, à elle seule, de prédire l'état de santé d'un individu, explique Steven Kembel, professeur au Département des sciences biologiques à l'Université du Québec à Montréal (UQÀM). Cet expert en analyses écologiques des microbiomes mentionne qu'on ne peut pas affirmer qu'un microbiote est en bonne santé en regardant seulement sa composition. Donc, un des facteurs qui importe le plus est la totalité des fonctions assurées par l'ensemble de la communauté microbienne. Dans cette perspective, l'étude du microbiome, c'est-à-dire l'ensemble des gènes exprimés par les microorganismes présents dans l'intestin, offre une vision plus pertinente du fonctionnement de l'écosystème intestinal. L'étude du microbiome permet de passer d'une lecture de la composition à une compréhension de la diversité fonctionnelle du microbiote.

Pour Pr Kembel, l'étude de la biodiversité génomique permet de contourner les défis apportés par l'étude de la composition du microbiote. Il rapporte qu'il y a plusieurs espèces dont on

Il y a quelque chose dans l'air...

Malheureusement, tout comme nous, notre microbiote est à la merci de notre environnement et des polluants qui le composent. Certains polluants persistants, comme le charbon utilisé pour le BBQ, les pesticides dans les fruits, les nanoparticules et les éléments traces métalliques (ETM - métaux lourds) viennent intoxiquer et déséquilibrer le microbiote intestinal. Cette intoxication aux polluants causerait des changements bactériens corrélant avec une augmentation des risques du diabète, de troubles cardiovasculaires et de certains cancers.

Crédit : Indiran DeVendran - pexels

microbiome) est aussi associée à des pathologies, comme la maladie inflammatoire de l'intestin. Cependant, il n'est pas encore clair si elle est la cause ou la conséquence de certaines pathologies (un cas classique de l'œuf ou la poule).

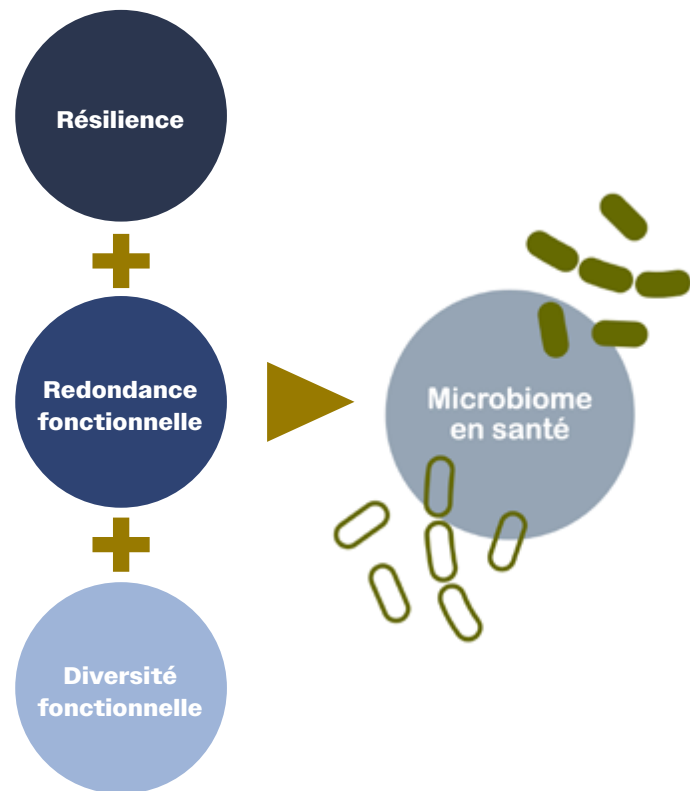
Enfin, il faut aussi considérer la qualité du dialogue entre le microbiome intestinal et l'individu. Cette relation symbiotique repose sur une véritable collaboration : l'hôte fournit un environnement et des nutriments favorables à l'établissement des microorganismes bénéfiques, tandis que ceux-ci offrent une protection et des molécules primordiales au maintien de la santé.

Cependant, lorsque l'environnement se modifie, par exemple en cas de changement du pH intestinal, d'inflammation ou de perturbations alimentaires, cette collaboration peut devenir moins efficace et conduire à un déséquilibre fonctionnel.

Ainsi, il existe plutôt une multitude de microbiomes équilibrés, fonctionnels et adaptables. Les tendances de ces communautés microbiennes vont aussi varier énormément selon le mode de vie, l'environnement, la génétique, le cercle social ou même le pays d'un individu. Maintenant, comment savoir que le nôtre se porte bien s'il n'existe pas de microbiome parfait ? En fait, il s'avère qu'il n'est pas sans obstacle de l'analyser. Évaluer le microbiome, malgré ses variations quotidiennes, prend beaucoup de temps et d'argent. Selon la souche et les gènes, certaines bactéries considérées pathogènes pour certains individus, pourraient être sans danger, ou même favorables pour d'autres.

Les trois piliers de la santé du microbiome intestinal

Crédit image : Maya Héon



Alors, comment peut-on entretenir son microbiome ?

Une question se pose naturellement : un probiotique va-t-il réellement aider la santé de notre microbiome ? Essayons de démystifier ce qui relève de la réalité et ce qui appartient encore à la fiction.

D'abord, il est intéressant d'éclairer des concepts parfois flous : on entend quoi par prébiotiques et probiotiques ? Selon l'Association Globale en Prébiotique, ils sont des produits ou aliments, comme des fibres, utilisés par le microbiote pour remplir des fonctions qui sont bénéfiques à l'hôte.

Les probiotiques sont plutôt composés de microorganismes vivants avantageux pour l'hôte. Idéalement, une compagnie offrant un probiotique n'aura pas cultivé n'importe quelle bactérie, mais bien une souche bactérienne ayant des gènes fonctionnels bénéfiques pour l'individu. Encore une fois, on veut viser les propriétés du microbiome, et pas celles du microbiote. Le mystère reste à voir si toutes les compagnies de l'industrie des probiotiques font les bons tests pour s'en assurer réellement.



La face cachée des probiotiques

On entend souvent parler de probiotiques, sans jamais en apprendre sur les risques associés.

Le chercheur Aaron Lerner et ses collègues soulignent plusieurs de ces risques dans leur revue scientifique critique qui recense plus de 200 études publiées à ce sujet. L'amplitude de cette analyse leur permet de dénoncer la vente de probiotiques problématiques.

Au lieu d'offrir des bactéries purement bénéfiques, certains probiotiques contiendraient aussi des gènes bactériens pouvant être nuisibles. Lerner et ses collègues citent des études ayant détecté des gènes néfastes dans des bactéries qui sont censées être des « probiotiques ». Entre autres, des gènes de résistance aux antibiotiques étaient présents dans certains probiotiques. Ceci contribue au phénomène d'antibiorésistance (nommée la « pandémie silencieuse »). Certaines de ces études ont plutôt détecté des virus pathogènes qui attaquent spécifiquement les bactéries. Ceux-ci menacent fortement l'équilibre du microbiome. Si vous n'aviez pas déjà une dysbiose, là serait votre chance !

Des probiotiques inefficaces ?

L'experte en microbiome Pre Marie-Claire Arrieta confirme que des probiotiques fonctionnent pour certaines conditions spécifiques, comme lors de la diarrhée du voyageur ou de la maladie inflammatoire de l'intestin. Cependant, elle insiste sur le fait

qu'il n'existe pas de probiotiques magiques efficaces pour tous les êtres humains ou dans l'ensemble des situations données.

L'étude de Lerner et ses collègues confirme ce qui était soupçonné. Un des enjeux avec l'industrie des probiotiques est sa tendance à se concentrer sur le microbiote, plutôt que le microbiome. Ce qui nous intéresse au sujet d'une bactérie, c'est ce qu'elle apporte réellement à l'individu, peu importe son nom. Si une compagnie de probiotiques vous propose un produit contenant une souche bactérienne spécifique, cela ne garantit pas son efficacité, puisqu'elle ne possède pas assurément les gènes espérés. C'est un peu comme si l'on assumait que tous les êtres humains sont aussi forts qu'Arnold Schwarzenegger.



Pre Arrieta souligne aussi que les humains en relativement bonne santé ont un intestin possédant une communauté microbienne déjà fortement établie. En introduisant une souche bactérienne spécifique via un probiotique, cette dernière ne réussira généralement pas à s'implanter. Puis, même si le bon type de bactérie parvient à s'établir, on se rappelle qu'elle n'aura pas toujours les bons gènes pour remplir le rôle qui l'attend.

Un postbiotique qui existe depuis près de 2000 ans

La transplantation fécale n'est pas une nouvelle thérapie innovatrice. La médecine chinoise utilisait ce traitement dès le 4^e siècle pour sauver des patients atteints de problèmes intestinaux. En médecine moderne, la thérapie a été raffinée et peut être personnalisée au microbiome unique à chaque patient.

Cette méthode traite des dysbioses, dont les infections à *C. difficile*. Cependant, comme pour tout traitement, il existe des effets secondaires. Pre Arietta explique que des gènes du microbiome peuvent parfois causer des problèmes, comme de l'acné ou des maladies auto-immunes. Si l'échantillon du donneur n'est pas filtré adéquatement, ces acteurs néfastes pourraient être transplantés avec les bactéries bénéfiques et causer ces effets secondaires. Par chance, des scientifiques cherchent activement des moyens de contourner ces risques.

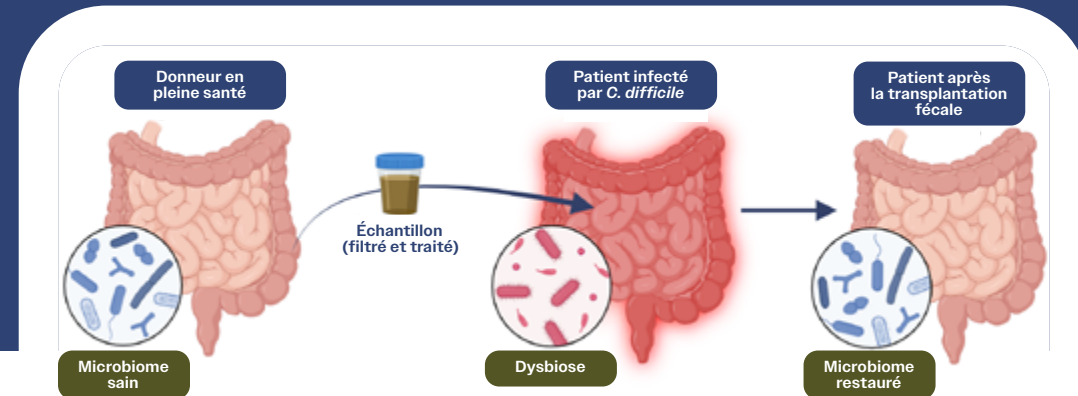


Image conçue avec BioRender.com

Qu'en est-il des postbiotiques et symbiotiques ?

En explorant sur le sujet, on peut rencontrer d'autres termes portant à confusion, comme les symbiotiques et les postbiotiques. En effet, un postbiotique contient plutôt des microorganismes inanimés ou des molécules provenant de bactéries bénéfiques pour l'hôte. Ces molécules peuvent être un fragment génétique produisant un bienfait connu, ou encore un produit de leur métabolisme bactérien. Au lieu d'introduire une souche bactérienne vivante, le postbiotique permet d'offrir une fonction précise du microbiome. Ce traitement avantageux évite certains risques, comme l'administration de certains facteurs pathogènes, tels qu'un gène d'antibiorésistance. Malgré cela, Pre Arietta demeure prudente. Cette science récente nécessite plus de recherches approfondies.

Quant à lui, un symbiotique est simplement une combinaison favorable entre soit des prébiotiques, probiotiques ou postbiotiques. Cette méthode augmenterait le taux de succès. En revanche, certains risques nommés précédemment pourraient persister, comme le « don » de virus pathogène.

Ainsi, au lieu de probiotiques pharmaceutiques, il peut être préférable de privilégier des symbiotiques naturels, comme le kimchi. Ces aliments combinent des prébiotiques (fibres) et des probiotiques alimentaires. Ils offrent généralement un microbiome plus diversifié et potentiellement plus avantageux. Il convient toutefois de rappeler que l'introduction de toute bactérie (alimentaire ou non) peut comporter des risques, notamment la présence de gènes d'antibiorésistance. Il est donc essentiel de choisir des sources fiables qui assurent le contrôle de leurs cultures bactériennes.



Crédit image : Nadxieli Jareda-Hernandez, étudiante finissante en biologie en APP

Pour le meilleur ou pour le pire, le microbiote est constamment affecté par ce qu'on ingère

Le microbiote, ça mange quoi en hiver ? Ça s'alimente de toutes sortes de choses, mais ça préfère les prébiotiques, majoritairement des fibres alimentaires. Une grande partie des fonctions importantes attribuées au microbiote intestinal proviennent des métabolites qu'ils produisent à partir de prébiotiques. De plus, les prébiotiques sont généralement beaucoup moins risqués que les probiotiques.

Les choix diététiques déterminent le sort de cette communauté digestive et leur capacité fonctionnelle. Afin de favoriser la production de métabolites avantageux par le microbiote, il est important d'offrir aux microorganismes une alimentation riche en fibres et en protéines à base de plantes. On retrouve une haute source de prébiotiques (fibres) dans les céréales, les fruits et les légumes. Les protéines à base de

plantes, quant à elles, sont retrouvées entre autres dans les lentilles. Ce type de protéine augmente le nombre de bactéries productrices de butyrate tout en réduisant les risques de dysbiose.

Le choix des gras est tout aussi important ! Une diète riche en acides gras saturés peut mener à une dysbiose, une résistance à l'insuline, une perméabilisation des intestins et une inflammation des tissus adipeux. D'un autre côté, les acides gras insaturés et polyinsaturés augmentent la diversité du microbiote. En effet, ces types de gras sont des nutriments pour les bactéries plutôt bénéfiques, favorisant ainsi leur prolifération au lieu de celles pouvant être néfastes. Ces gras sont notamment retrouvés dans les graines de citrouille, l'huile d'olive extra-vierge et les Oméga-3.

Certains additifs alimentaires artificiels réduiraient l'efficacité d'activités importantes du microbiome. Pre Arietta mentionne que certains émulsifiants perturbent la santé du microbiome intestinal. La consommation de ces additifs par

Vive les champignons !

Les champignons comestibles sont une source de prébiotiques importante pour la santé du microbiote, notamment par leur teneur élevée en fibres. Leurs bienfaits sont très intéressants et variés. Par exemple, selon l'étude critique menée par Jayachandran et associés, le Reishi est un champignon médicinal ayant plusieurs effets bénéfiques sur le microbiote intestinal. Ils ont constaté que la fonction prébiotique du Reishi permet, entre autres, de prévenir les troubles métaboliques liés à l'obésité et à la dysbiose. Il améliore aussi les fonctions immunes tout en réduisant l'inflammation.

Les champignons comestibles sont donc une option pertinente pour réguler le microbiote intestinal humain et les fonctions métaboliques.



Images BioRender.com

Notre microbiome aime aussi les bonnes habitudes de vie !

Nos habitudes de vie influencent grandement notre microbiome. Tout comme l'exercice peut soutenir notre bien-être physique et mental, il soutient aussi un microbiome sain. En effet, ce ne sont pas seulement nos cellules humaines qui sont ravies lorsqu'on bouge notre corps, qu'on suit un cycle de sommeil régulier et qu'on limite notre stress quotidien. Nos petits amis digestifs nous en remercient aussi !

En effet, nos bonnes habitudes diminuent notamment l'inflammation, les hormones de stress et la perte de mobilité digestive. En limitant ces causes de dysbiose, on aide le microbiote à maintenir une communauté saine. En retour, on évite d'avoir des bactéries qui produisent des toxines, des métabolites ou des neurohormones qui nous causent du tort. C'est du donnant-donnant à son meilleur !

les microorganismes de l'intestin humain cause des dommages intestinaux, comme l'amincissement de la couche du mucus protégeant l'intestin. Sans cette couche, l'individu est plus susceptible aux maladies, infections et inflammations. Un des additifs mentionnés par Pre Arietta est la lécithine, un émulsifiant commun dans la crème glacée.

En plus de l'alimentation, la consommation de certains médicaments, comme les antibiotiques, affecte la diversité microbienne des intestins. Selon Pre Arietta, l'utilisation

de probiotiques après un traitement antibiotique n'est pas nécessaire chez une personne en santé. En revanche, elle souligne qu'une transition vers une alimentation saine constitue la clé pour le rétablissement fonctionnel du microbiome, surtout après la prise d'antibiotiques. Il n'est toutefois pas évident de choisir la diète ou les prébiotiques « parfaits » pour soi, puisque chaque individu possède un microbiome unique. Notre diversité microbienne s'est formée au fil du temps et une diète considérée favorable pour une personne ne l'est pas nécessairement pour une autre. L'étude de Rinninella et associés démontre toutefois qu'une diète méditerranéenne serait une option généralement bonne à essayer, puisqu'elle intègre des aliments avantageux énumérés ci-haut.

Pas de solution miracle !

On sait maintenant qu'un microbiome sain ne dépend pas de sa composition, mais plutôt de sa diversité en fonctions bénéfiques, assurées par de nombreuses espèces de microorganismes.

À l'avenir, lorsqu'on vous recommandera un probiotique à l'aveuglette, vous saurez mieux en comprendre les enjeux. Au lieu d'acheter une souche bactérienne spécifique, il est souvent idéal de prioriser ses efforts et ses sous ailleurs.

La clé est d'adopter graduellement une alimentation préventive, diversifiée et riche en fibres, protéines d'origine végétale et gras insaturés. Le maintien de bonnes habitudes de vie demeure aussi essentiel pour prendre soin non seulement de nous-mêmes, mais aussi de notre microbiome intestinal.

Principaux facteurs impactant le microbiome intestinal

Un microbiome sain est favorisé par des facteurs bénéfiques (à gauche), alors que certains facteurs nuisibles le troublent (à droite).

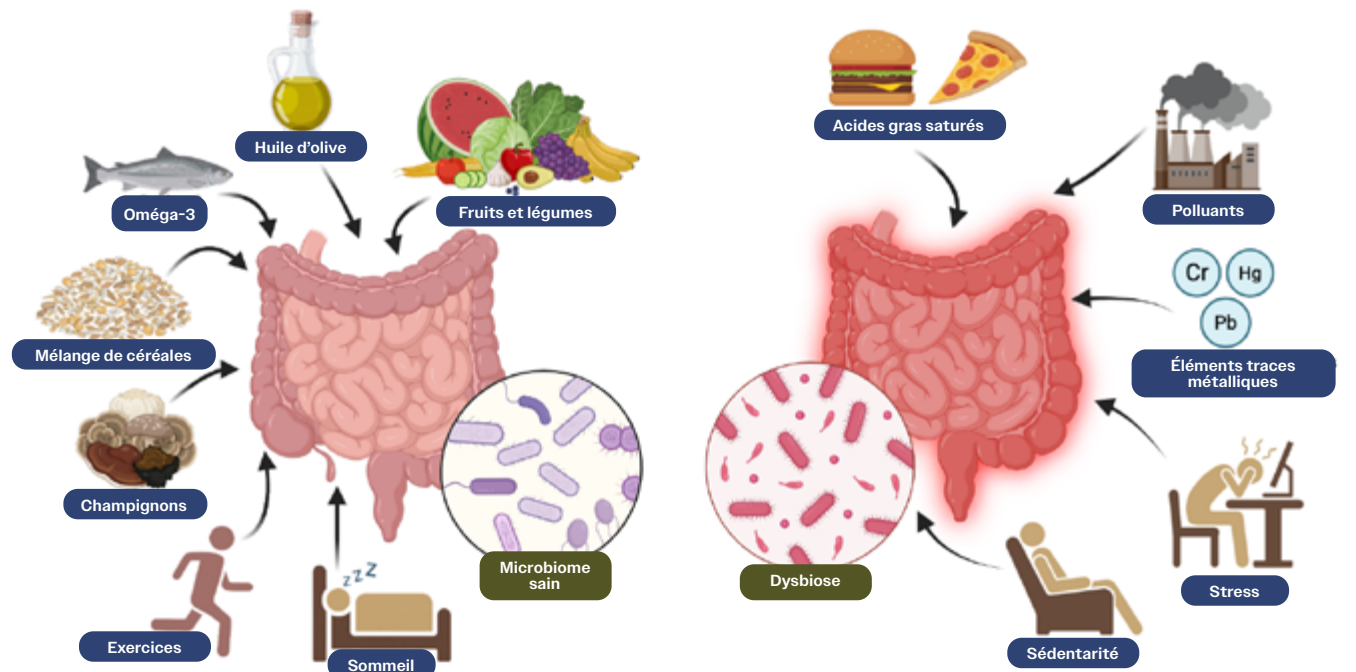


Image conçue avec BioRender.com

Par Thierry Gaucher,
Arno Landry,
Lilou Lavoie
et Cassandre Vienneau

*L'épopée d'un cadavre : la biologie du *post-mortem**



Crédit image : Jon Butterworth - Unsplash

Qu'y a-t-il après la mort ? La biologie nous le révèle de plus en plus. Alors que les systèmes du corps s'éteignent un à un, plusieurs mécanismes s'animent. Les cellules, en état d'alerte, tentent de maintenir le corps en vie avant d'accepter leur sort. Les communautés bactériennes qui occupent les organes et la peau deviennent des empires florissants, colonisant les tissus pour en piller les ressources et les transformer, attirant ainsi les insectes et les charognards.

Les avancées en biologie moléculaire, en microbiologie et en taphonomie nous permettent de comprendre ces mécanismes, aboutissant à des découvertes d'envergure en matière de sciences judiciaires et de médecine. À bas les tabous et les inconforts – le corps mourant grouille de vie, et il a tant de choses à vous dire !



Crédit image : Domokus - Pixabay

Par un beau dimanche ensoleillé, vous quittez votre maison pour vous adonner à une rafraîchissante randonnée en forêt. Votre journée ne pourrait être plus parfaite : le chant des oiseaux vous enveloppe, les feuilles dansent dans le vent et *boum...* votre distraction est votre perte, vous dégringolez en bas du sentier, et la chute vous tue sur le coup !

Vous cessez de vivre – dans un sens. Entre vos cellules qui s’acharnent à maintenir leurs fonctions, le champ de bataille que devient votre microbiote, la nature qui vous réclame tranquillement... une certaine forme de vie persiste malgré votre décès. Équipés des dernières découvertes en matière de biologie du post-mortem, aventurons-nous dans l’épopée mouvementée de votre corps ayant tiré son dernier souffle.

La machine s'éteint

C'est ainsi que débute l'histoire de votre mort : votre cerveau meurt. Précisément, cela signifie qu'il perd toute fonction cérébrale, incluant la conscience et tout réflexe du tronc cérébral, dont votre respiration autonome et le maintien d'un rythme cardiaque régulier.

Néanmoins, votre cœur dispose d'un mécanisme interne lui permettant de demeurer actif dans les quelques minutes suivant la mort de votre cerveau. Votre système digestif, indépendant de votre système nerveux central, continue aussi brièvement son travail avant de s'éteindre graduellement suite à l'arrêt de la circulation sanguine. Certains stimuli sont encore acheminés pendant quelques heures à la moelle épinière et peuvent induire des mouvements involontaires dans vos membres supérieurs. Tranquillement, le centre de

commande de l'organisme s'éteint, et les systèmes de votre corps se désorganisent les uns après les autres, déclenchant une cascade de changements post-mortem.

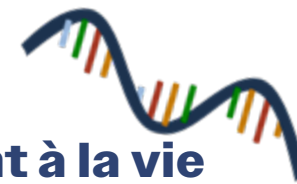
Maintenant que votre cœur ne pompe plus, votre sang descend par gravité, donnant lieu à ce qu'on appelle la lividité cadavérique (*livor mortis*). Couché sur le dos, celui-ci devient bleuté, tandis que votre visage, votre ventre et l'avant de vos jambes pâlisent, coloration qui deviendra permanente à mesure que votre sang coagulera d'ici 8 à 12 heures. Vos muscles se raidissent en l'absence de l'énergie qui permet habituellement leur détente : c'est la rigidité cadavérique (*rigor mortis*), qui durera d'un à deux jours, avant le début de la dégradation de vos tissus. Ayant perdu la capacité de réguler votre température interne, celle-ci chute peu à peu (*algor mortis*), jusqu'à rejoindre celle de la forêt tempérée qui vous entoure.

Qu'est-ce que la mort ?

Saviez-vous qu'au Canada, aucune directive universelle ne définissait la mort jusqu'au 31 mai 2023 ? Dorénavant, les nouvelles Lignes directrices de pratique clinique dans le Journal canadien d'anesthésiologie définissent la mort comme étant l'arrêt total et irréversible des fonctions cérébrales. Cela permet de démêler des situations médico-légales complexes, notamment dans le contexte de la récupération d'organes d'une personne donneuse.



Vos cellules s'accrochent à la vie



Immédiatement après votre décès, imaginez-vous effectuer un plongeon au cœur de votre corps, jusqu'à ce que chaque cellule révèle sa structure et ses mécanismes. En analysant ce qui se passe dans vos cellules, il est possible de voir comment celles-ci vont réagir activement à la dégénérescence des systèmes dont elles ont besoin pour survivre. Pour ce faire, des chercheurs ont commencé à observer quelles parties du génome demeurent actives, en s'appuyant sur les ARN transcrits. Concrètement, les ARN sont des messages envoyés par les gènes, permettant à la cellule de savoir quoi faire et quand le faire. En 2015, la chercheuse Gulnaz T. Javan, professeure en sciences médico-légales au Forensic Science Program de l'Alabama State University, et son équipe proposent le terme « thanatotranscriptome apoptotique » pour décrire pour la première fois les messages génétiques véhiculés après la mort. Ces messages associés à la mort programmée et ordonnée des cellules restent interprétables ou activés jusqu'à 48 heures. Cette étude permet de reconstituer, pas à pas, ce qui se déroule activement dans les cellules post-mortem.

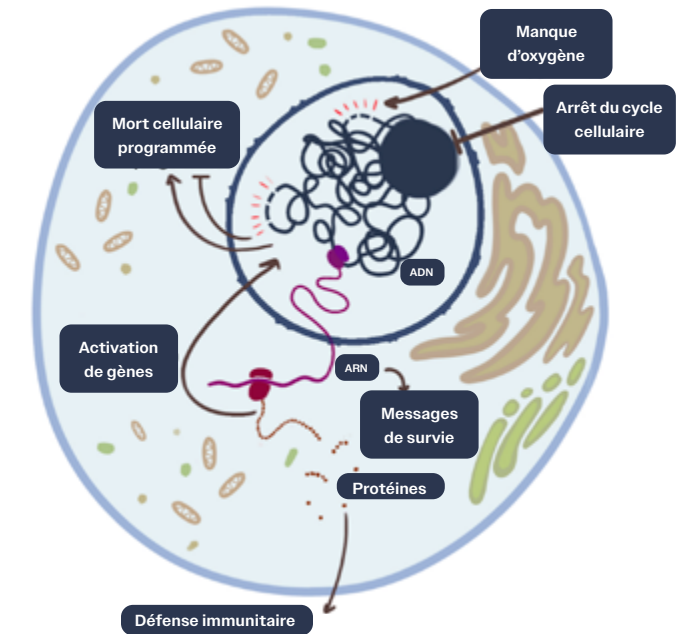
Dès les premières minutes qui suivent la mort, certaines de vos cellules activent des gènes liés au stress oxydatif, un type de stress causé par le manque d'oxygène. Dans ce désordre, l'ADN est endommagé et des mécanismes de réparation s'activent, mettant temporairement le cycle cellulaire en pause pour corriger les séquences abîmées. Lors de cette phase, vos cellules tentent désespérément de stabiliser le système alors que l'organisme est déjà cliniquement mort.

De la première à la douzième heure, les programmes de défense immunitaire enclenchent une réponse inflammatoire,

avec des molécules messagères qui attirent les cellules de défense pour commencer à nettoyer les débris, comme si le corps tentait encore de se protéger d'une infection.

Entre 6 à 48 heures, des gènes de mort cellulaire programmée s'activent et orchestrent le démantèlement ordonné de la cellule, pendant que d'autres gènes, liés à la survie, restent étonnamment actifs et tentent de freiner ce processus par un réflexe de survie de la cellule qui réagit encore au stress.

Cellule post-mortem



Crédit image : réalié par Lilou Lavoie

Dons d'organes : un risque de cancer ?

Plusieurs des gènes activés après le décès sont liés à des mécanismes typiques du cancer, comme la prolifération et la migration des cellules ou la résistance à la mort cellulaire, sans directement déclencher de cancer. Toutefois, leur activation prolongée dans certains tissus soulève des questions importantes lorsqu'il est envisagé de prélever ces organes pour une greffe. En théorie, la présence accrue de ces voies biologiques pourrait augmenter le risque de cancer chez les receveurs d'organes, surtout dans un contexte où le système immunitaire du receveur est volontairement affaibli pour éviter le rejet. L'activité génétique post-mortem pourrait avoir des implications cliniques à long terme encore mal comprises.



À un stade plus avancé, un phénomène encore plus surprenant survient : certains de vos gènes, qui s'activent normalement pendant le développement embryonnaire ou dans des contextes pathologiques comme le cancer, commencent à s'exprimer. Plus on s'éloigne du moment du décès, plus ces programmes inhabituels deviennent visibles.

À ce sujet, l'équipe du chercheur Peter A. Noble, de l'Université de Washington à Seattle s'est intéressée au poisson zèbre et à la souris, deux espèces modèles dont certains mécanismes biologiques ressemblent à ceux de l'humain. Leurs travaux montrent que, chez ces animaux, certains gènes impliqués dans le développement et l'organisation des tissus se rallument après la mort. Ces gènes jouent habituellement un rôle dans la formation des organes, le guidage des cellules ou le câblage du système nerveux. Leur réactivation suggère qu'à la désorganisation des grands systèmes de régulation propres à l'organisme adulte, d'anciens programmes issus du développement embryonnaire tentent brièvement de relancer la construction et la réparation des tissus, telle une tentative de régénération. Cependant, le thanatotranscriptome est variable et dépend entre autres de la cause du décès. Selon Dr Fabiano Pinheiro Da Silva, immunologue et médecin de l'Université de São Paulo, il est impératif de considérer que l'expression des gènes post-mortem n'est pas toujours comparable d'un patient à l'autre.

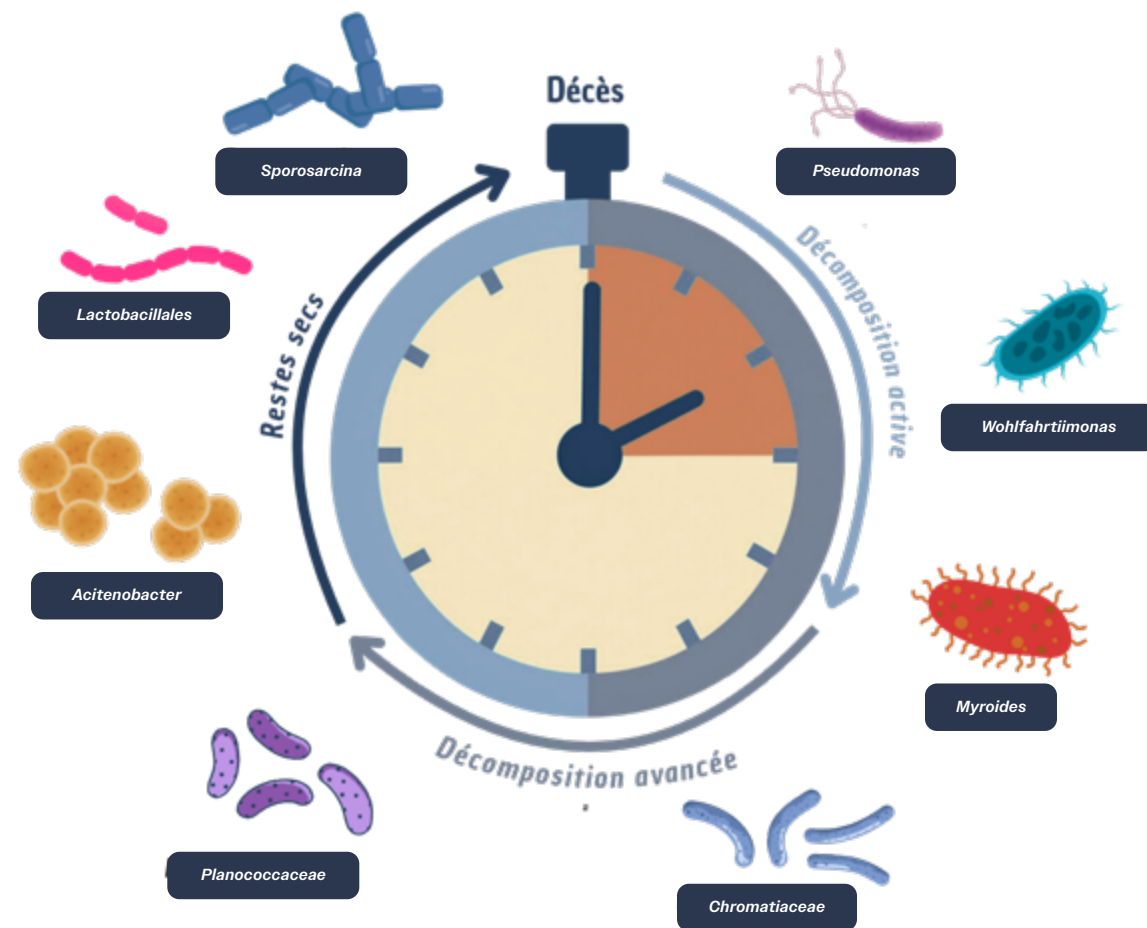
Vers la décomposition

Certes, vos cellules meurent, mais votre histoire ne se termine pas ici. Ce n'est que le début de la fête et les premiers invités se trouvent déjà en vous : c'est votre microbiote. Lorsque vos cellules s'autodétruisent, elles libèrent un festin de ressources pour les bactéries qui habitent vos organes. Votre microbiote intestinal présente la charge microbienne la plus élevée, avec plusieurs milliers de milliards de bactéries appartenant à près de 1000 espèces différentes. Au total, les bactéries de votre corps sont dix fois plus nombreuses que vos propres cellules !



Crédit image : adapté de Inna, PurMoon et Your Birthday - Canva

Horloge du microbiome



Crédits image : Stealth Back, Irasutoya, Zeroeightstd, Hashslingslasher, Mildrey, YummyBuum, Sensvector - Canva



Crédit image : Araf Ibne Allam - Unsplash

Quand la barrière immunitaire tombe, plus rien n'empêche ces bactéries de prendre le dessus – pour votre microbiote, vos cellules sont d'énormes piñatas gorgées de nutriments. L'ensemble des bactéries participant à la décomposition de vos organes est votre thanatomicrobiome. Ce n'est pas un groupe statique de bactéries, mais une succession rapide de communautés microbiennes qui interagissent entre elles, se disputant les nutriments tout en transformant votre corps selon votre propre trajectoire de décomposition. Plusieurs équipes de recherche ont démontré que la succession de bactéries dans des organes précis permet d'estimer jusqu'à deux jours près le temps écoulé depuis le décès, telle une horloge microbienne.

Les premières bactéries à entamer votre décomposition sont opportunistes, à croissance rapide et au métabolisme diversifié – elles sont abondantes dans votre intestin et vos fosses nasales. Ce sont les plus aptes à compétitionner pour les glucides, les acides aminés, les lipides et les minéraux libérés lors de la dégradation de vos cellules. En métabolisant vos constituants cellulaires, ces bactéries aérobies strictes, donc consommatrices d'oxygène, vont proliférer rapidement dans les trois premiers jours de votre décomposition. D'autres espèces aérobies suivront pour devenir dominantes dans vos joues, vos biceps et votre torse.

Ce n'est que le début de votre décomposition, mais déjà, de nombreux changements notables sont observables. Ces transformations sont au cœur d'une science multidisciplinaire appelée taphonomie : l'étude des processus intervenant entre la mort et l'enfouissement des organismes.

Après le troisième jour, la respiration des bactéries intestinales entraîne une chute drastique de l'oxygène disponible. Votre corps devient inhabitable pour plusieurs espèces bactériennes, mais cela laisse place à d'autres dont la survie ne dépend pas de l'oxygène. L'activité de fermentation de ces bactéries dites anaérobies augmente et se traduit par l'accumulation et la libération de gaz tels que le dioxyde de carbone, le méthane, l'ammoniac et l'hydrogène. Ce phénomène est caractéristique de la phase gonflée de votre décomposition.

Le REST [ES] et l'étude de la décomposition au Québec

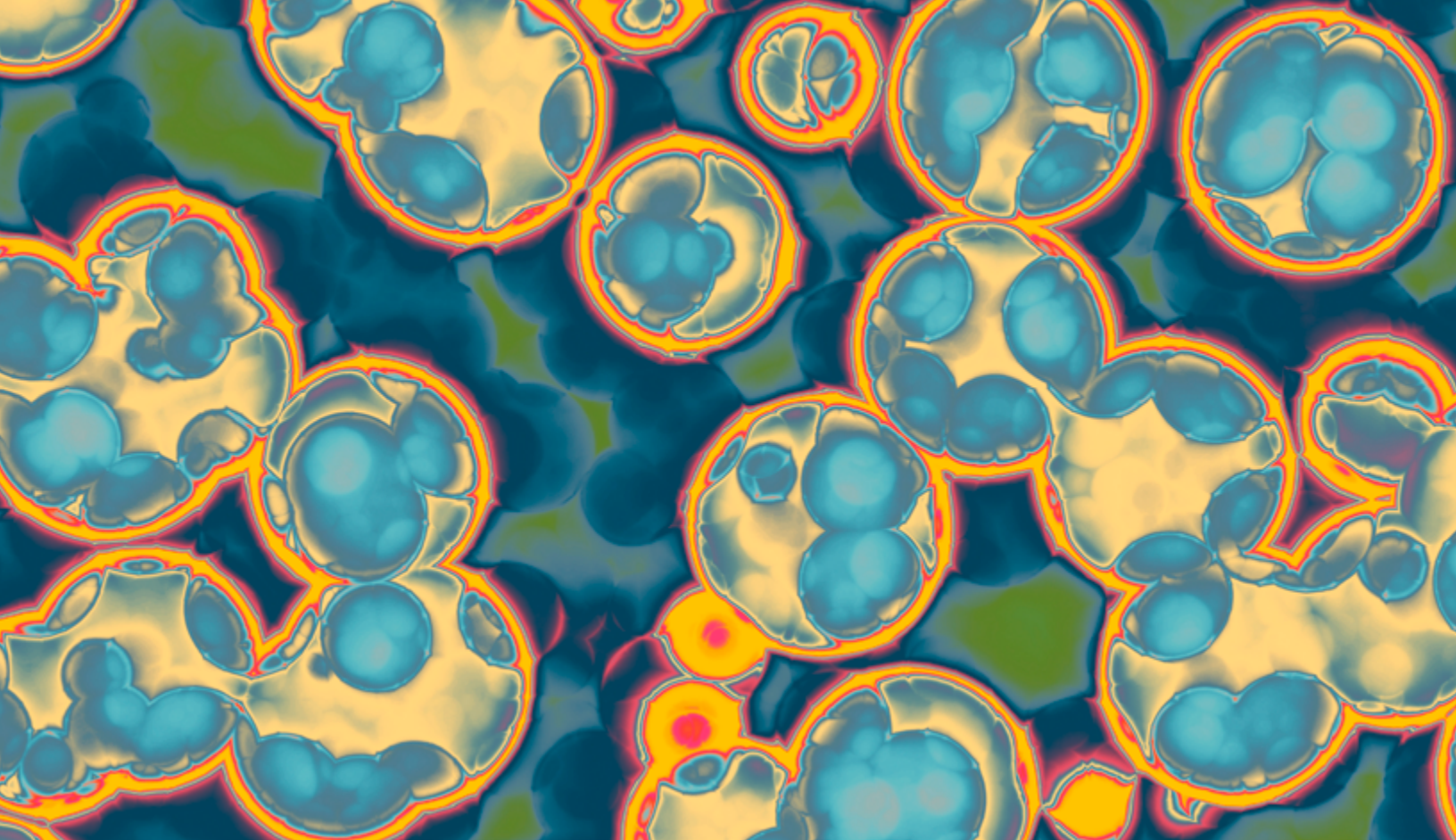
Au Québec, le site de Recherche en Sciences Thanatologiques [Expérimentales et Sociales] (REST [ES]) est actif depuis 2020, accueillant des projets de recherche sur la décomposition humaine en partenariat avec l'Université du Québec à Trois-Rivières. Les chercheuses Frédérique Ouimet et Sabrina Lépine-Leclerc, y ayant mené des travaux de recherche lors de leurs études, expliquent que le site à ciel ouvert peut contenir une vingtaine de corps, tous posés sur le dos et recouverts d'une cage prévenant les attaques des charognards – l'objectif principal demeure la préservation du respect des donateurs. Chaque corps est un projet unique, que ce soit sur l'activité entomologique ou sur la décomposition sous-terrainne dans les cimetières, dans le cas du projet de Sabrina Lépine-Leclerc. Quant à elle, Frédérique Ouimet s'est attelée à l'étude des odeurs libérées par les cadavres, afin d'en mesurer des paramètres aidant ensuite à l'identification des morts.

Trouver des donateurs est un procédé complexe : « ceux qui donnent leur corps à la science ne donnent pas nécessairement leur corps à la science de décomposition », explique Frédérique Ouimet, « obtenir le consentement, c'est un des aspects les plus difficiles de l'étude sur les restes humains ». Le REST [ES] bénéficie parfois de dons particuliers... certains offrent leur membre amputé à la science.

« Avec un pied, on peut créer 10 outils d'entraînements pour les chiens policiers. Un pied, ça peut aller loin ! », déclare Frédérique Ouimet. C'est un des projets phares du REST [ES], dont la mission est de perfectionner la détection des corps disparus par les chiens du service de police. Selon les expertes, le succès serait déjà au rendez-vous !



Crédit image : Antonio Tersigni - Unsplash



Crédit image : berkay08 - Canva

Appelés apéneumones, plusieurs gaz volatils libérés par des bactéries sont spécifiquement conçus pour attirer des insectes décomposeurs qui viendront pondre leurs œufs dans vos tissus. Ce stratagème leur permet de coloniser l'insecte qui, en se déplaçant, favorise la dispersion des bactéries. Les diptères nécrophages, comme la mouche grise de la viande, arrivent ainsi sur votre corps, emmenant avec eux les bactéries peuplant naturellement ces mouches.



Les bactéries ayant entamé le travail de décomposition de votre cadavre bénéficieront d'un coup de main des arthropodes. En plus des mouches se joindront au festin des guêpes et

diverses espèces de scarabées omnivores ou nécrophiles, se nourrissant aussi bien de la carcasse que des insectes nécrophages. Le corps peut même servir de refuge aux araignées et aux mille-pattes. Sans tous ces précieux décomposeurs rampants, votre itinéraire de décomposition aurait été beaucoup plus lent.

Les prochains à avoir pris rendez-vous avec votre corps sont les vertébrés. En forêt au Québec, les premiers sur les lieux, attirés par l'odeur de votre dépouille, sont les corneilles et les corbeaux, ainsi que les urubus à tête rouge. Ils picorent la peau et les orifices, au grand bonheur des insectes qui ont désormais un meilleur accès à l'intérieur du corps. Les coyotes et les mouffettes, ayant remarqué la présence d'oiseaux, se joignent ensuite au bal.

Urubu à tête rouge
(*Cathartes aura*)



Corneille d'Amérique
(*Corvus brachyrhynchos*)



Crédit image : Cuatrok77 et Mr.TinDC - Animalia



Autour du sixième jour, la rupture de votre peau expose votre cavité abdominale à l'oxygène. Cet événement induit un stress oxydatif sur les bactéries anaérobies qui, après leur prépondérance dans vos tissus, cèdent la place à plusieurs bactéries aérobies. « C'est la loi de la jungle », mentionne Audrey-Anne Leblanc, microbiologiste spécialisée en sciences forensiques et présentement enseignante au Collège Lionel-Groulx. Les bactéries les mieux adaptées aux différents stades de décomposition supplantent les précédentes. En effet, la présence de méthane et d'autres gaz de putréfaction odorants abaisse le pH de vos tissus, facilitant la croissance de bactéries acidophiles et la prolifération de bactéries consommatrices de graisses, tel que *Cutibacterium acnes*. Cette espèce vous est peut-être plus familière sous le nom d'acné – qui aurait cru que votre cauchemar d'adolescence prendrait part à la décomposition de votre corps !

Vers le neuvième jour, vous entamez la phase de décomposition active marquée par la liquéfaction des organes, des muscles et de la peau et l'évacuation de fluides par vos orifices. Cette étape cruciale est le point culminant de l'activité microbienne et elle supporte l'arrivée de prédateurs voraces des bactéries : des nématodes. Ces vers ronds envahissent votre corps et y consomment la biomasse bactérienne.

Comble du répugnant, votre cadavre dégoulinant contamine désormais le sol forestier sur lequel il repose ! L'écologie de la première couche du sol est affectée jusqu'à une vingtaine de centimètres latéralement. Cette zone de sol sombre et humide est un îlot de décomposition. Elle est caractérisée par une forte injection de carbone, d'azote et de nutriments, ainsi qu'une hausse du pH due à la transformation de l'azote. Ce changement d'acidité peut être fatal – les plantes meurent, et les bactéries et arthropodes sont remplacés par une communauté d'espèces spécialisées pour ce nouvel environnement, qui peuvent à leur tour affecter la décomposition du corps les surplombant.

L'estimation du PMI

Le *post-mortem interval* (PMI) représente l'intervalle de temps écoulé depuis le décès. « C'est le Saint-Graal en sciences médico-légales, » affirme Audrey-Anne Leblanc, microbiologiste. Dans les jours suivant immédiatement le décès, le PMI peut être estimé aisément à l'aide d'une autopsie et de la « triade classique » de changements morphologiques : *livor*, *rigor* et *algor mortis*. Cependant, après une semaine, la tâche se complique – entrent en jeu les analyses du microbiome et des procédés taphonomiques !



Après quelques semaines, lors de la phase de décomposition avancée, votre corps est dominé par des champignons décomposeurs et des bactéries pouvant décomposer une grande variété de composés organiques, tandis que l'activité entomologique est en diminution.

Au stade squelettique, il ne demeure que votre peau sèche, semblable à du cuir, votre cartilage, vos os et vos dents – même vos cheveux et vos ongles auront été dégradés par des insectes consommateurs de kératine. La squelettisation de votre corps induit une spécialisation de certains groupes de bactéries pouvant décomposer une diversité de composés, afin qu'il ne reste plus que vos os.

Votre succession bactérienne et l'état de votre dépouille sont directement affectés par les conditions biologiques et environnementales. Une infection dans votre corps, votre prise de médicaments et d'antibiotiques, ainsi que votre régime alimentaire sont des facteurs biologiques qui influencent votre thanatomicrobiome et votre itinéraire de décomposition.

La momification naturelle

Les momies n'existent pas que dans les tombeaux égyptiens ou les films d'horreur ! On qualifie de momification l'arrêt de la décomposition au profit d'une conservation des tissus mous desséchés. L'eau est essentielle au bon fonctionnement de la plupart des enzymes responsables de la décomposition. Ainsi, les vêtements portés par un défunt peuvent absorber l'eau hors du corps et permettre sa momification. De grands froids peuvent avoir un effet similaire, en congelant ou en sublimant toute l'eau d'un cadavre. Dans les tourbières, la mousse libère des substances qui aident à préserver les tissus mous et ont tendance à momifier les corps enfouis.



Crédit image : Kerin Gerge - Unsplash

Toute condition environnementale joue un rôle dans votre décomposition. Une température plus froide ou un ensoleillement moindre diminuent la vitesse de dégradation en raison des activités bactérienne et entomologique réduites. De plus, autant l'humidité et l'oxygénation du sol que sa structure façonnent la progression de la décomposition. Un sol acide décompose les muscles jusqu'à trois fois plus vite et accélère la dégradation des restes squelettiques. Même vos choix vestimentaires pourraient avoir un impact après votre mort : d'une part, les vêtements ralentissent l'accès des insectes à votre peau, mais d'autre part ils préservent une température interne élevée qui est loin de déplaire aux bactéries qui vous habitent.



Crédit image : LaVonna Moore - Pixabay

Hélas, suite à votre chute catastrophique en forêt, les seuls enquêteurs qui ont retrouvé votre cadavre – dont il ne reste que le squelette – sont les coyotes, qui se font un malin plaisir à croquer vos os lentement détériorés par l'environnement. Plusieurs mois après votre trépas, le sol retrouve son état original et sa communauté habituelle d'organismes vivants. Une végétation dense s'est installée au-dessus de votre sépulture, alimentée par l'apport massif en nutriments que vous avez fournis au sol. En fin de compte, même dans votre mort, on peut dire que vous avez été un bon vivant !

Au-delà des craintes

Comprendre ces phénomènes post-mortem – l'activité de vos cellules, la succession de votre microbiote, la décomposition de vos tissus – permet l'élaboration de meilleures techniques en sciences judiciaires, comme l'estimation de plus en plus précise du temps écoulé depuis la mort et la recherche plus efficace des personnes disparues. En médecine, des chercheurs partout dans le monde font usage de cette branche scientifique afin de mieux comprendre des conditions médicales graves, telles que le cancer, les maladies neurodégénératives et le choc septique.

Cependant, ce domaine demeure émergent. Les tabous sociaux et les incompréhensions fondamentales qu'évoque la mort continuent d'exercer une résistance à étudier les phénomènes qui la concerne. Ne craignons pas la mort – elle a tant à nous apprendre !



Crédit image : adapté via Canva, inspiré de l'œuvre de Karine Savard pour Festin Boréal (Morin, 2024)



Et si votre *mort* s'était passée autrement ?

Et si vous veniez plutôt de vous noyer ? L'eau, généralement plus froide que la température ambiante, ralentit votre décomposition. Autour de votre cadavre s'activent des bactéries, des algues et des charognards aquatiques. À la phase gonflée, votre cadavre flotte et refait surface – son identification n'est pas facile : vos traits sont transformés et des méthodes alternatives d'estimation de l'intervalle post-mortem doivent être employées.

Et si vous veniez plutôt de vous faire enterrer ? L'environnement frais, contenant moins d'insectes et de charognards, ralentit votre décomposition. Un sol aéré et sec favorise la dessiccation des tissus mous, tandis qu'un sol compact empêche une décomposition efficace.

Et si vous mouriez plutôt en hiver ? Le froid ralentit votre décomposition, cependant la neige enveloppe votre corps et isole les réactions bactériennes internes qui s'intensifient. À votre dégel, votre apparence externe semblera presque intacte, alors que vos organes se seront liquéfiés – l'estimation du PMI devient particulièrement imprécise.

Que se passe-t-il après la mort ?

Votre cœur est maintenant complètement arrêté. Le sang ne circule plus, votre température corporelle commence donc à chuter. Les gènes liés au stress oxydatif s'activent dû au manque d'oxygène dans les cellules.

Les gènes liés à l'apoptose sont activés, et la réponse immunitaire abandonne. La lividité cadavérique (*livor mortis*) devient permanente.

C'est maintenant la phase gonflée ! Les bactéries libèrent des gaz, dont les apéneumones. Ceci attire les insectes qui colonisent ensuite votre corps.

C'est à ce moment que vos organes commencent à se liquéfier, et les nématodes envahissent ce qu'il reste de vous.

Quelques minutes après

1 à 6 heures

C'est à ce moment que le *livor mortis* et le *rigor mortis* sont initiés. La réponse immunitaire est aussi enclenchée. Votre système digestif et votre système nerveux périphérique s'éteignent.

6 à 12 heures

12 à 24 heures

Votre microbiote commence à décomposer votre corps, qui atteint la température ambiante (*algor mortis*). Il y a potentiellement expression de gènes associés au développement embryonnaire.

3 jours

24 à 48 heures

La désagrégation du tissu musculaire assouplit le *rigor mortis*. C'est aussi la fin de l'expression de vos gènes associés au développement embryonnaire et à l'apoptose ; vos cellules sont mortes.

9 jours

6 jours

Alors que les vertébrés nécrophages commencent à vous piller, il y a rupture de l'abdomen. L'exposition de votre cavité abdominale à l'air libre mène à la prolifération de bactéries acidophiles et consommatrices de graisse.

Quelques semaines

Les champignons se joignent au processus de décomposition. Tranquillisez-vous, vous vous squelettisez.

Crédit icônes de la ligne du temps : Flaticon



L'oiseau présenté sur la couverture de cette édition est un *Mésangeai du Canada* (*Perisoreus canadensis*), un corvidé largement répandu dans la *forêt boréale* et la *taïga* nord-américaine. Il demeure sur son territoire toute l'année et tolère très bien les hivers froids, notamment grâce à sa capacité à cacher de la nourriture dans l'écorce et les lichens pour la récupérer plus tard. C'est un oiseau *social* qui vit souvent en petits groupes familiaux et dont les vocalisations, plutôt douces, sont bien connues des randonneurs fréquentant ces milieux. L'individu photographié sur notre couverture a été capté par *Karim Bouzidi Idrissi*, étudiant au baccalauréat en biologie en apprentissage par problèmes à l'UQAM.



Credit : Jérémie Hynes - Unsplash

Remerciements & conclusion

Crédit photo arrière-plan : Nadxieli Jareda-Hernandez, étudiante finissante en biologie en APP

Pour clore cette 20^e édition, le comité tient à adresser ses plus *sincères remerciements* à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à sa réalisation. Qu'il s'agisse de la création de contenu, du financement, de l'organisation ou de la mise en forme, votre *engagement* a fait une réelle différence. Parmi ces personnes, nous tenons à souligner le *dévouement exceptionnel* de l'éditrice en chef de la 19^e édition, *Charlotte Vincent-Tanchoux*, qui a su redonner vie et structure à la revue, tout en *accompagnant* et en *guidant* le comité actuel tout au long de l'année.

Nous souhaitons également remercier chaleureusement les membres du jury qui ont évalué les textes et sélectionné les articles en fonction de leur qualité, de leur vulgarisation et de leur rigueur scientifique. Par leur *expertise*, leur *regard critique* et la *pertinence* de leurs commentaires, ils ont contribué de manière déterminante à la qualité de la revue que vous tenez entre vos mains.

Nous tenons finalement à remercier chaleureusement le *support professoral* et l'*encadrement universitaire* offerts par le Département des sciences biologiques de l'UQAM, la Faculté des sciences de l'UQAM, ainsi que le REEB UQAM, pour leur soutien constant tout au long du projet. Un énorme merci aux professeurs *Nicolas Pilon*, *Tanya Handa* et *Jean-Hugues Roy*, dont l'encadrement, les commentaires et les critiques ont façonné et orienté la rédaction de chaque article.

UQAM | Département des sciences biologiques

UQAM | Faculté des sciences
Université du Québec à Montréal

UQAM | Services à la vie étudiante

Enfin, merci à *celles et ceux* qui nous lisent et nous suivent : votre *intérêt* donne tout son sens à ce travail et permet à cette initiative de se poursuivre *année après année*.

Le comité du *Point Biologique* tient à remercier un membre du personnel particulièrement présent pour les étudiants, *Guillaume Robillard*. Peu importe le pépin, qu'il s'agisse d'un conflit d'horaire ou d'une question concernant le cursus universitaire, *Guillaume* arrive toujours à rassurer les étudiants. Il surpasse ses fonctions d'assistant à la gestion des programmes de 1^{er} cycle en biologie et au certificat en écologie. Sa porte du *SB-R810* est toujours grande ouverte et il accueille tout le monde *chaleureusement*, autant avec sa présence *bienveillante* qu'avec des bonbons sur son bureau ! Il aura aussi offert un *support incessant* au comité du *Point Biologique* en aidant la distribution d'informations importantes aux élèves et membres du personnel. Pour les futurs étudiants qui aimeraient en connaître plus sur le programme de biologie en APP, *Guillaume* saura certainement vous aider au moduledebiologie@uqam.ca ou 514-987-3654.



Un merci particulier aux personnes et organismes qui ont *généreusement* offert un soutien financier, essentiel pour permettre à ce projet de prendre vie. Sans cet appui, le *Point Biologique* ne pourrait pas continuer à exister ni à remplir son objectif de rendre les sciences biologiques *plus accessibles*.

Un énorme merci à la *Société de biologie de Montréal* (SBM) et à l'*Association des biologistes du Québec* (ABQ). Année après année, la SBM et l'ABQ soutiennent activement le *Point Biologique*. Que ce soit en offrant généreusement un financement, en contribuant au vernissage ou en faisant partie du jury, ces deux OBNL encouragent fortement l'épanouissement de la relève scientifique de l'UQAM.

sbmnature.org/fr/ et abq.qc.ca/fr/



Un grand merci au *Café Bloc*, un café et centre d'escalade montréalais reconnu pour son ambiance conviviale et son ancrage dans la communauté locale. Nous remercions chaleureusement leur équipe pour leur soutien. Leur engagement et leur esprit de collaboration ont fait toute la différence.

cafebloc.com



Un grand merci à *Chouette à Voir*, un organisme dédié à la conservation des oiseaux de proie et à l'éducation du public à leur sujet. Leur contribution à notre soirée bingo témoigne de leur générosité et de leur volonté de sensibiliser un large public à la biodiversité. Nous leurs sommes très reconnaissants pour leur appui.

chouetteavoir.ca

Un grand merci à Brindille, une boutique spécialisée dans les plantes d'intérieur, offrant une grande sélection de produits ainsi que des conseils adaptés aux amateurs, comme aux passionnés. Nous les remercions sincèrement pour leur contribution et leur soutien.

brindille.ca



Nous tenons également à remercier le *Zoo de Granby*, une institution majeure en conservation, éducation et recherche sur la faune au Québec, qui a accepté de nous soutenir pour cette 20^e édition de la revue. Leur engagement envers la protection de la biodiversité et la sensibilisation du public est remarquable, et nous tenons à leur adresser nos sincères remerciements pour leur précieuse contribution.

zoodegranby.com



Un énorme merci à *Mano Verde*, une entreprise spécialisée dans l'agriculture urbaine et divers projets horticoles. Leur expertise et leur engagement envers la biodiversité cultivée en font un acteur important du milieu horticole. Nous les remercions chaleureusement pour leur précieux soutien.

manoverde.ca

Nous avons également eu l'honneur d'être en collaboration avec *Nature Expert*, une entreprise québécoise spécialisée en ornithologie, offrant des produits et des ressources dédiés à l'observation et à la protection des oiseaux. Leur expertise et leur passion pour la faune aviaire contribuent activement à sensibiliser le public à la biodiversité. Nous les remercions sincèrement pour leur précieuse contribution.

nature-expert.ca



Un énorme merci à *Nature Sauvage*, un magazine proposant à ses lecteurs une immersion unique au cœur du Québec et de l'Amérique, et offrant un regard renouvelé sur la nature. Par la qualité de son contenu et la richesse de ses articles, il contribue à approfondir notre compréhension du monde naturel québécois. Nous les remercions chaleureusement pour leur précieux soutien.

naturesauvage.ca

Un grand merci au *Muffin Plus* UQAM pour leur support généreux lors de cette 20^e édition. L'équipe du *Muffin Plus* au pavillon Président-Kennedy offre, chaque jour, un accueil chaleureux et des repas appréciés par tous. Nous sommes très reconnaissants de leur générosité – ils ont également contribué au succès de notre soirée bingo et le vernissage en offrant des plateaux de viennoiseries ainsi que des cartes-cadeaux à faire tirer.

@muffinplus_uqam





Un énorme merci à **Mycoboutique**, une boutique spécialisée dans la vente de champignons comestibles variés. Mycoboutique a généreusement offert en prix une carte-cadeau de 50 \$ lors de notre soirée bingo. Plus particulièrement, nous souhaitons remercier Judith Noël Gagnon, directrice de l'entreprise et diplômée de notre programme de biologie APP en 2006, pour son soutien bienveillant et son implication inspirante.

mycoboutique.com

Un grand merci à **Dieu du Ciel**, pour leur généreux soutien à cette 20^e édition. Leur contribution a enrichi nos événements de collecte de fonds, et nous sommes très reconnaissants pour leur appui.

dieuduciel.com



Un grand merci à **Gutsy**, une entreprise québécoise spécialisée dans la production de kombucha. Leur généreuse contribution a apporté une touche pétillante à notre soirée vernissage, et a été grandement appréciée. Nous sommes ravis d'avoir pu faire découvrir leur univers à notre communauté.

gutsydrinks.com/fr

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 bonifié notre soirée vernissage, et a été grandement appréciée. Nous sommes ravis d'avoir pu partager leur mission d'innovation durable avec notre communauté.

rebon-quebec.com



Enfin, un grand merci à l'association étudiante REEB UQAM, pour leur énorme soutien aux projets étudiants. Ayant toujours priorisé les droits et besoins des étudiant·es en biologie, cette association veille à l'épanouissement de leur vie étudiante uqamienne. Année après année, l'implication du REEB supporte la revue étudiante et l'accomplissement des étudiant·es finissants au baccalauréat en biologie en APP.

Un grand merci à vous !



Crédit : Antoine Villeneuve, étudiant inscrit en biologie en APP


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.

© Copyleft 2026

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

Cette revue est également disponible en version électronique : lepointbiologique.com



A white bird is captured in flight, its wings spread wide, against a backdrop of a mossy rock. In the foreground, a nest made of twigs and branches is visible, containing several light blue eggs. The scene is set in a natural, outdoor environment with soft lighting.

Le baccalauréat en biologie en apprentissage par problèmes (APP)

Une approche pédagogique novatrice qui met l'accent sur l'étudiant-e et les besoins de formation de demain. La méthode APP encourage le travail d'équipe proactif et permet de développer des compétences en communication, analyse de problèmes scientifiques, apprentissage autodidacte et vulgarisation. À la dernière année, l'étudiant-e se spécialise en écologie, toxicologie et santé environnementale ou biologie moléculaire et biotechnologie.

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