

# Ça, c'est de la SCIENCE!

Revue scientifique des étudiants(es) en Sciences de la nature du Cégep de Valleyfield

Numéro 10 - printemps 2019



# Chers lecteurs et lectrices,



Suzie Grondin  
Directrice des études

10 années de fierté ! L'engagement des étudiantes et des étudiants à la production de cette revue scientifique contribue au rayonnement de notre collège par une réalisation qui a su faire sa marque au fil des années. Fidèle à ses objectifs, la revue présente divers articles qui décrivent et expliquent certains phénomènes de la science en les vulgarisant, en captant l'attention du lecteur, et ce, tout en faisant subtilement la promotion de la science.

Les phénomènes naturels, les énigmes scientifiques ou encore la magie de certains événements du quotidien y sont démystifiés et présentés de façon limpide et accessible. Je suis convaincue que, tout comme moi, vous saurez grandement apprécier cette production étudiante de haute qualité.

Félicitations aux étudiantes rédactrices et aux étudiants rédacteurs pour la qualité des contenus proposés. Je félicite aussi les collaboratrices et collaborateurs pour la qualité de la langue française ainsi que pour la conception graphique. Je remercie très sincèrement les professeurs qui ont contribué à la réalisation de cette édition de la revue scientifique.

Bonne lecture !

C'est avec un grand plaisir et beaucoup de fierté que, pour une 10<sup>e</sup> fois, les étudiantes et les étudiants du comité de rédaction vous présentent la revue scientifique *Ça, c'est de la science!* La rédaction des articles de la revue est le fruit des efforts de plusieurs finissants et finissantes du programme Sciences de la nature au Cégep de Valleyfield. Pour nous, ce programme est une opportunité d'approfondir nos connaissances dans divers domaines scientifiques et cette revue nous donne l'occasion de les propager. Nous croyons que le partage des connaissances acquises par les étudiantes et étudiants durant leur parcours collégial éveillera votre curiosité scientifique.

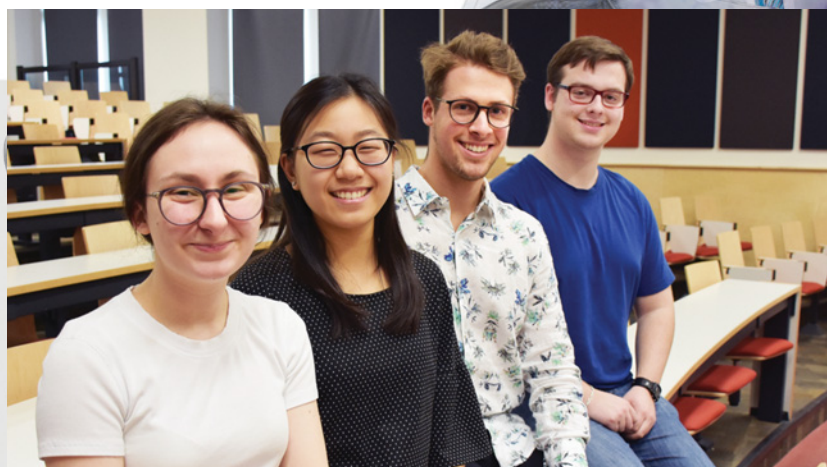
Nous souhaitons remercier le comité des enseignants, des enseignantes et des membres du personnel de nous avoir guidés dans la réalisation de ce beau projet. Pour leur implication, nous remercions donc Éric Demers, Simon Labelle, Martin Nantel-Valiquette, Marie-Ève Provost-Larose et Dominique Tessier, membres du comité, mais également toutes les enseignantes et tous les enseignants qui ont encadré les étudiants et étudiantes dans la rédaction de leurs articles scientifiques. Plus particulièrement, nous devons un très gros merci à Hélène Lévesque, responsable du projet et coordinatrice du programme, pour son travail acharné et son dévouement. Nous tenons aussi à remercier Aimie Chénard pour la magnifique couverture qui orne cette revue. Et à l'occasion de cette 10<sup>e</sup> édition de la revue, nous voulons remercier toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à chacune des éditions précédentes.

Finalement, nous souhaitons remercier pour leur généreuse contribution nos nombreux commanditaires: la direction des études et la direction des affaires étudiantes du Cégep de Valleyfield, la Fondation du Collège de Valleyfield, l'AGÉCOV, la MRC Beauharnois-Salaberry, l'imprimerie Multi Plus, le Syndicat des enseignantes et enseignants du Collège de Valleyfield, MDA, la ligue de hockey du Collège de Valleyfield, Coopsco Valleyfield, Dépanneur Victoria, Entreprise THT et tous les parents et amis ayant participé aux campagnes de financement.

Bonne lecture !

Les étudiants et les étudiantes du comité de rédaction

Alexandra Bombardier, Minh-Tam Tien, Colin Poirier et Simon Desjardins



# Table des matières

<b>CRISPR : vers l'utopie génétique</b> .....	<b>4</b>
<b>La voiture de l'avenir n'est pas une voiture volante</b> .....	<b>6</b>
<b>Gare à votre pizza, elle contient des maths! (Et toute votre vie aussi, d'ailleurs.)</b> .....	<b>8</b>
<b>La colonisation de Mars, tout un défi!</b> .....	<b>10</b>
<b>L'ordre qui dicte le chaos</b> .....	<b>12</b>
<b>Pour le panda, la paresse, c'est la survie!</b> .....	<b>14</b>
<b>L'inconstance d'une constante</b> .....	<b>16</b>
<b>Éradiquer une maladie, c'est possible grâce aux mathématiques!</b> .....	<b>18</b>
<b>Entre plaisir et dépendance : une ligne aussi mince qu'un neurone!</b> .....	<b>20</b>
<b>Génération « pilules » : la résistance se prépare</b> .....	<b>22</b>
<b>La découverte d'une nouvelle perturbation</b> .....	<b>24</b>
<b>10<sup>e</sup> édition : retour aux sources</b> .....	<b>26</b>



L'intérieur de cette revue est imprimé sur du Rolland Enviro Satin 120M texte. Ce papier 100 % postconsommation est certifié FSC®, ÉcoLogo ainsi que Procédé sans chlore et est fabriqué localement à partir d'énergie biogaz.

## COMITÉ DE RÉDACTION :

ÉTUDIANTS(ES) : Alexandra Bombardier, Minh-Tam Tien, Colin Poirier et Simon Desjardins

PROFESSEURS(ES) : Éric Demers, Simon Labelle, Hélène Lévesque, Martin Nantel-Valiquette, Marie-Ève Provost-Larose et Dominique Tessier

INFOGRAPHIE et MISE EN PAGE : Aimie Chénard

RÉVISION LINGUISTIQUE : Guillaume Robidoux

ÉDITEUR : Cégep de Valleyfield, 169, rue Champlain, Salaberry-de-Valleyfield (Québec) J6T 1X6

ISSN 1920-1141

Cette revue est conforme aux normes de la nouvelle orthographe.

La version électronique de la revue est disponible sur le site web du Cégep ([www.colval.qc.ca](http://www.colval.qc.ca)), dans la rubrique « Programmes d'études – Préuniversitaires », sous le titre du programme « Sciences de la nature ».

# CRISPR : vers l'utopie génétique

Par Minh-Tam Tien et Gabrielle Poirier

*Et si la science-fiction devenait réalité? La science-fiction illustre un monde imaginaire où tout devient possible par la science et la technologie. Est-ce que vivre comme dans les films et livres de science-fiction vous semble impossible? Tout cela est sur le point de changer. La découverte d'un nouvel outil génétique nous permet de modifier l'ADN sans limite et transformer nos rêves les plus fous en réalité.*

CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) est un outil d'édition du génome et est le fruit de deux études scientifiques. C'est en 1987, dans le laboratoire de Ishino Yoshizumi, qui travaillait alors sur la bactérie *E. coli*, que CRISPR a été découvert. Les études supplémentaires d'Emmanuelle Charpentier et de Jennifer Doudna, en 2010, ont éclairé le lien qui existe entre CRISPR et les bactéries. En effet, CRISPR est une séquence spécifique de l'ADN qui fait partie du système de défense des bactéries contre les virus.

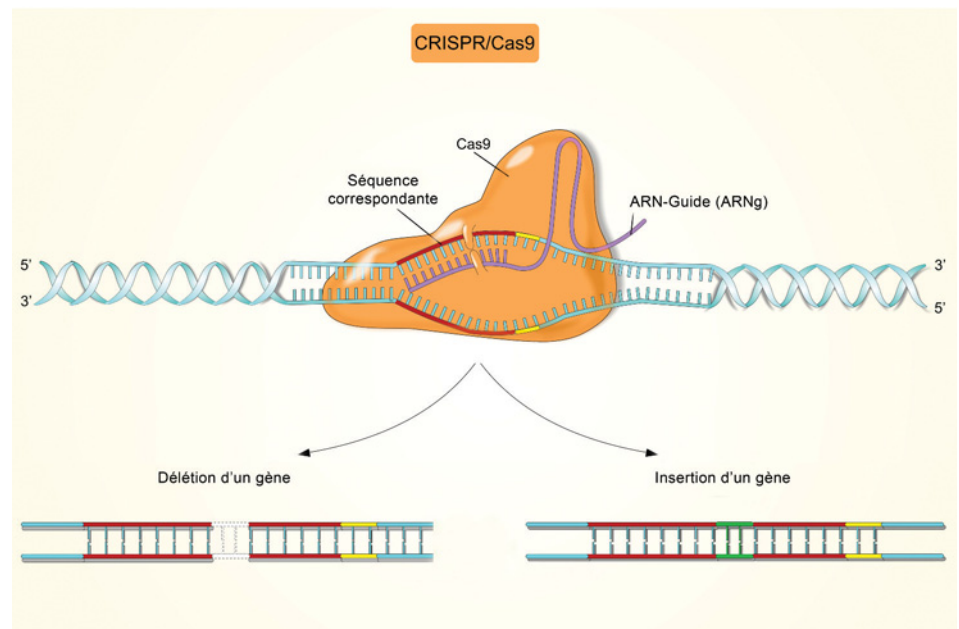
Les virus infectent les cellules bactériennes afin de se répliquer. Pour se protéger, certaines bactéries ont développé un système de défense contre ces virus, connu sous le nom de CRISPR. La séquence CRISPR, qui se retrouve précisément dans l'ADN de la bactérie, est la recette pour synthétiser la protéine Cas9 (CRISPR associated protein 9). La bactérie crée aussi un ARN-guide, qui est un brin complémentaire à l'ADN du virus qu'il faut éliminer. Une fois la protéine Cas9 et l'ARN-guide formés, les deux s'agencent pour former un seul complexe. Chacune des composantes de cet assemblage joue un rôle spécifique. L'ARN-guide sert à guider la protéine Cas9 et à localiser l'endroit exact de l'ADN du virus, comme un chien de détection. À cet endroit, la protéine Cas9 agit comme une paire de ciseaux afin de couper l'ADN du virus et le désactiver. L'ennemi est donc vaincu.

C'est en se basant sur ce mécanisme et en appliquant une partie de celui-ci que les scientifiques arrivent à modifier les gènes d'un individu. Cependant, il existe quelques différences entre ce processus qui est naturel chez les bactéries et le processus qui serait forcé chez l'être humain. L'une des différences majeures est l'absence de la séquence CRISPR dans l'ADN des cellules humaines.

Le mécanisme nécessite donc la synthèse, en laboratoire, d'un ARN-guide complémentaire à la zone visée de l'ADN de l'individu et d'une protéine Cas9. Le couplage ARN-guide et Cas9 est alors introduit, en laboratoire, dans une de nos cellules. Une fois à l'intérieur, il se déplace le long de l'ADN jusqu'à ce que l'ARN-guide repère une séquence spécifique. À cet endroit, le sectionnement de l'ADN a lieu. La coupure de l'ADN rend alors possible, soit l'insertion d'un nouveau gène, l'inactivation d'un gène ou le remplacement d'un gène par sa version modifiée.

L'insertion est tout simplement l'introduction d'un gène complètement nouveau dans la séquence de l'ADN. Ainsi, un organisme verra l'apparition d'une toute nouvelle caractéristique physique ou physiologique. Par exemple, à ce jour, les chercheurs tentent d'introduire un nouveau gène afin que les moustiques ne soient pas porteurs de maladies ou de virus, comme la malaria ou le Zika. De plus, avec CRISPR, il serait possible de greffer des organes d'origine animale, comme ceux du porc, chez les êtres humains.

Le processus consiste à insérer de nouveaux gènes permettant de greffer l'organe animal sans que notre corps le rejette. Présentement, les scientifiques considèrent ramener à la vie des espèces disparues, dont le mammouth. Sachant que les mammouths sont les ancêtres des éléphants, les scientifiques n'ont qu'à modifier l'ADN d'un éléphant en insérant de nouveaux gènes afin de recréer l'ADN spécifique aux mammouths. Les applications de CRISPR ne s'arrêtent pas là. Cet outil peut aussi être utilisé dans le domaine agroalimentaire pour créer de nouveaux fruits et légumes ou pour permettre à ceux que nous connaissons déjà de survivre à certains facteurs environnementaux et à certaines maladies. Les différentes avancées scientifiques que l'insertion de nouveaux gènes nous offre semblent plutôt impressionnantes, mais de telles manipulations engendrent nécessairement la transmission de ce nouveau gène dans les futures générations. La prudence est donc essentielle puisque les effets secondaires non désirés restent encore inconnus et il faut éviter toute transmission de gènes indésirables.<sup>1</sup>



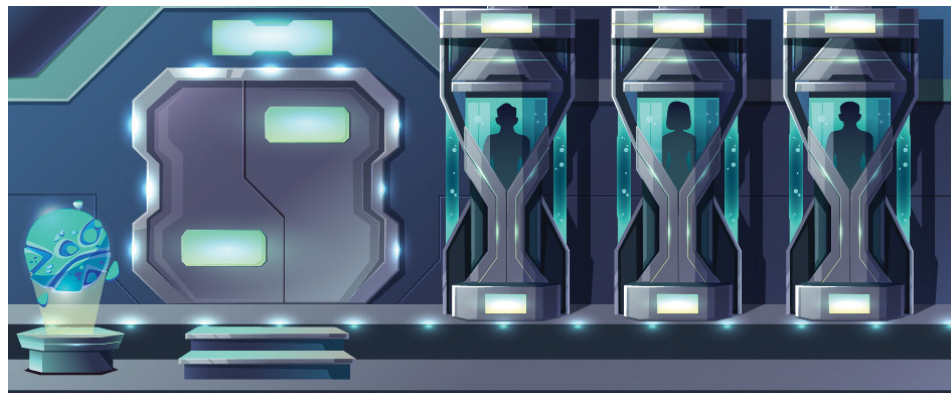
**FIGURE 1** L'ARN-guide et Cas9 se lie à l'ADN pour la couper. Source : Ellepigraphica. CRISPR/Cas9 biotechnology to edit genes. Adobe Stock [Image en ligne] 2019 [consulté le 12 avril 2019] Disponible : [https://stock.adobe.com/search?filters\[content\\_type%3Aphoto\]=1&filters\[content\\_type%3Aillustration\]=1&filters\[content\\_type%3Azip\\_vector\]=1&filters\[content\\_type%3Avideo\]=1&filters\[content\\_type%3Atemplate\]=1&filters\[content\\_type%3A3d\]=1&filters\[include\\_stock\\_enterprise\]=0&filters\[is\\_editorial\]=0&filters\[content\\_type%3Aimage\]=1&k=crispr%20&order=relevance&safe\\_search=1&search\\_page=1&acp=&aco=crispr%20&get\\_facets=0&asset\\_id=243261416&clientId=IwAR3BsA3pMChw1\\_bvVQrQ6g9PPCJJTi2lWJoolYsmHgAB53G0Ui5Z0yqQD3U](https://stock.adobe.com/search?filters[content_type%3Aphoto]=1&filters[content_type%3Aillustration]=1&filters[content_type%3Azip_vector]=1&filters[content_type%3Avideo]=1&filters[content_type%3Atemplate]=1&filters[content_type%3A3d]=1&filters[include_stock_enterprise]=0&filters[is_editorial]=0&filters[content_type%3Aimage]=1&k=crispr%20&order=relevance&safe_search=1&search_page=1&acp=&aco=crispr%20&get_facets=0&asset_id=243261416&clientId=IwAR3BsA3pMChw1_bvVQrQ6g9PPCJJTi2lWJoolYsmHgAB53G0Ui5Z0yqQD3U)

Il est aussi possible d'inactiver un gène. Après le bris de l'ADN, celui-ci se répare de manière autonome. La réparation autonome peut entraîner des mutations, ce qui veut dire que la séquence de l'ADN s'en trouve modifiée. Cette modification de l'ADN devient comme une nouvelle recette, différente de la recette initiale, et provoque des erreurs dans la synthèse des protéines correspondantes. Or, les protéines sont le résultat de l'expression des gènes, en d'autres termes, elles sont responsables des caractéristiques physiques et physiologiques d'un individu. Dorénavant, leur modification entraîne nécessairement des changements dans ces caractéristiques. C'est en observant ces changements qu'il est possible de comprendre que cet endroit de l'ADN contrôle cette caractéristique. Ceci constitue une méthode que les scientifiques utilisent maintenant pour comprendre le rôle joué par un gène spécifique. En appliquant cette méthode sur plusieurs sites de l'ADN, les scientifiques arrivent à perfectionner leurs connaissances sur l'ADN et à dresser une carte des gènes.

Également, la correction des erreurs génétiques peut se faire en remplaçant le gène mutant par le même gène, mais non mutant. Cette méthode de remplacement d'un gène peut être appliquée spécifiquement dans le domaine médical. En effet, à partir de cette méthode, il peut être très efficace d'éliminer certaines maladies causées par des gènes mutants. Par exemple, tous les types de cancer, l'achondroplasie (forme de nanisme) ou toute autre maladie héréditaire pourraient potentiellement être éliminés. La méthode inverse serait aussi possible, comme dans le cas du VIH, où un gène non mutant serait remplacé par un gène mutant, permettant à la personne d'être immunisée contre ce virus.



**FIGURE 2** Chaque partie de l'ADN (gène) est responsable d'une caractéristique physique ou physiologique. Source : MicroOne. DNA engineering. Adobe Stock [Image en ligne] 2019 [consulté le 12 avril 2019] Disponible : [https://stock.adobe.com/ca/search?filters\[content\\_type%3Aphoto\]=1&filters\[content\\_type%3Aillustration\]=1&filters\[content\\_type%3Azip\\_vector\]=1&filters\[content\\_type%3Avideo\]=1&filters\[content\\_type%3Atemplate\]=1&filters\[content\\_type%3A3d\]=1&filters\[content\\_type%3Aimage\]=1&order=relevance&safe\\_search=1&search\\_page=1&acp=&aco=gene&limit=100&serie\\_id=247308963&get\\_facets=0&asset\\_id=247308963&fbclid=IwAR0pCPC7vqTs6dVpJz81-HkkCjNpSicdb6F2CGNf68SdrXUdzfAW6c](https://stock.adobe.com/ca/search?filters[content_type%3Aphoto]=1&filters[content_type%3Aillustration]=1&filters[content_type%3Azip_vector]=1&filters[content_type%3Avideo]=1&filters[content_type%3Atemplate]=1&filters[content_type%3A3d]=1&filters[content_type%3Aimage]=1&order=relevance&safe_search=1&search_page=1&acp=&aco=gene&limit=100&serie_id=247308963&get_facets=0&asset_id=247308963&fbclid=IwAR0pCPC7vqTs6dVpJz81-HkkCjNpSicdb6F2CGNf68SdrXUdzfAW6c)



**FIGURE 3** Et si les générations futures étaient créées de A à G (A, C, T, G) en laboratoire... ?

Source : Vectorpouch. Human cloning cartoon. Adobe stock [Image en ligne] 2019 [consulté le 12 avril 2019] Disponible : [https://stock.adobe.com/search?filters\[content\\_type%3Aphoto\]=1&filters\[content\\_type%3Aillustration\]=1&filters\[content\\_type%3Azip\\_vector\]=1&filters\[content\\_type%3Avideo\]=1&filters\[content\\_type%3Atemplate\]=1&filters\[content\\_type%3A3d\]=1&filters\[content\\_type%3Aimage\]=1&order=relevance&safe\\_search=1&search\\_page=1&acp=&aco=human%20in%20a%20lab%20&limit=100&serie\\_id=233120308&get\\_facets=0&asset\\_id=233120338&fbclid=IwAR3BsA3pMChw1\\_bVVQrQ6g9PPCJJiTiLWJoolYsmHgAB53G0uI5Z0yqQD3U](https://stock.adobe.com/search?filters[content_type%3Aphoto]=1&filters[content_type%3Aillustration]=1&filters[content_type%3Azip_vector]=1&filters[content_type%3Avideo]=1&filters[content_type%3Atemplate]=1&filters[content_type%3A3d]=1&filters[content_type%3Aimage]=1&order=relevance&safe_search=1&search_page=1&acp=&aco=human%20in%20a%20lab%20&limit=100&serie_id=233120308&get_facets=0&asset_id=233120338&fbclid=IwAR3BsA3pMChw1_bVVQrQ6g9PPCJJiTiLWJoolYsmHgAB53G0uI5Z0yqQD3U)

Le VIH est un virus qui s'attaque aux cellules du système immunitaire et qui tue progressivement les globules blancs du sang. Les globules blancs constituent la ligne de défense la plus redoutable de notre système immunitaire ; ils nous protègent contre les potentiels intrus. Leur mort rend donc l'individu plus vulnérable et enclin à développer certaines maladies, comme le cancer et les infections respiratoires. Une fois contracté, le VIH ne peut pas être éliminé de l'organisme de l'individu. Cependant, avec l'outil CRISPR-Cas9, il est possible d'empêcher un individu de contracter le VIH en implantant un gène spécifique, soit une version mutée du gène CCR5. Ce gène code pour la protéine CCR5 qui permet au virus de pénétrer dans les globules blancs afin de les détruire. Ainsi, en remplaçant ce gène par sa version mutée, le virus ne peut plus pénétrer dans les globules blancs, car la protéine n'est plus produite par le corps. L'individu devient immunisé contre le VIH. <sup>2</sup>

Les premières jumelles génétiquement modifiées à l'aide de CRISPR-Cas9, Lulu et Nana, ont vu le jour dans le laboratoire de He Jiankui à Shenzhen, en Chine, en novembre 2018.

## La modification du gène responsable de la contraction du VIH sur l'une des jumelles aura-t-il un impact sur son développement ?

Cette expérience a suscité l'intérêt de la communauté scientifique aux quatre coins du monde. Le scientifique a tenté de modifier, chez les jumelles, le gène responsable de la contraction du VIH. L'expérience aura été concluante sur seulement l'une des deux jumelles.<sup>3</sup> Le résultat de cette expérience soulève un important débat éthique. Même si CRISPR peut être un outil puissant et utile du point de vue scientifique, et surtout médical, ses impacts et conséquences restent imprévisibles à long terme. La modification du gène responsable de la contraction du VIH sur l'une des jumelles aura-t-il un impact sur son développement ? Impossible de le savoir, car les connaissances actuelles sur le fonctionnement de CRISPR ne permettent pas encore de comprendre les dangers potentiels auxquels nous sommes exposés. CRISPR permet d'effacer les maladies héréditaires, comme le nanisme, mais en jouant avec l'ADN, CRISPR ne porterait-il pas atteinte à l'identité de la personne ? CRISPR va-t-il franchir la frontière tenue entre la thérapie, qui sert à guérir les individus, et l'amélioration, qui sert à perfectionner l'être humain ? Le domaine de la biogénétique tente d'expliquer la génétique et l'hérédité chez l'être humain, mais la découverte de CRISPR peut mener à l'ouverture d'une boîte de Pandore d'où pourrait sortir le fantôme de certains scientifiques et de la société actuelle de modéliser l'être humain en un être soi-disant « parfait ».

### RÉFÉRENCES :

- Morange M. L'édition du génome. Études [Internet]. 22 septembre 2017 [cité le 7 mars 2019]; (10) : Numéro 4242 : 61-72. Disponible sur : <https://www.cairn.info/revue-etudes-2017-10-page-61.htm>
- Tortora G, Funke B, Case C. Introduction à la microbiologie. 3<sup>e</sup> édition. Éditions du nouveau pédagogique inc. Montréal : ERPI; 2017.1118 p.
- Jalinière H. Alerte aux bébés génétiquement modifiés. Sciences et Avenir. Janvier 2019 [cité le 12 avril 2019]; 863 : p.68-70.

# La voiture de l'avenir n'est pas une voiture volante

Par Alexandra Bombardier et Marianne Pleau

*On est en 2019. L'humanité, dans les vingt dernières années, a survécu à deux fins du monde : celle de 2000 et celle de 2012. Celle causée par le réchauffement climatique est imminente. On ne peut plus le nier. Il faut changer notre mode de vie. Il faut rendre nos moyens de transport plus écoresponsables.*

Les technologies utilisées dans la fabrication de voitures électriques ne cessent d'évoluer, ce qui permet aux constructeurs d'offrir des voitures à plus grande autonomie et, ainsi, de vanter ce moyen de transport considéré plus écologique. Par contre, l'extraction de certains composés qui entrent dans la fabrication de la batterie de ces véhicules demeure très polluante. Une question s'impose : les aspects positifs de ce véhicule sont-ils assez importants pour contrer les aspects environnementalement néfastes du processus de construction ?

## Il faut rendre nos moyens de transport plus écoresponsables.

### Composition d'une batterie

Les batteries des voitures électriques se classent parmi le type lithium-ion. Le cœur de ces batteries est composé de piles. Ces piles sont fabriquées à partir de cinq éléments essentiels : la cathode, l'anode, les électrolytes, le séparateur ainsi que l'élément de sécurité. Chaque composante assume un rôle précis et unique.

### Fonctionnement de la batterie

Pour l'instant, la batterie lithium-ion reste la batterie la plus adaptée pour les véhicules électriques en raison de l'énergie que celle-ci peut fournir et de sa puissance par unité de masse. Ces aspects lui confèrent une plus grande légèreté et un format plus compact que certaines autres batteries rechargeables. Aussi, sa durée de vie demeure supérieure à une batterie comparable telle que la batterie plomb-acide ou la batterie nickel-hydrure métallique.

### Principe de recharge

Dans une batterie rechargeable, il y a deux phases : une de décharge, lors de l'utilisation de la voiture, et une de recharge. Dans la phase de décharge, le lithium contenu dans l'anode, ou l'électrode négative, va s'ioniser dans la solution d'électrolytes contenant des sels dissociés afin de traverser la membrane poreuse séparant les deux électrodes. Ces ions vont aller se fixer à la cathode pour former de l'oxyde de lithium. La propagation des ions entre les deux électrodes est possible grâce aux sels de la solution d'électrolytes. Au même moment où les ions lithium sont libérés de l'anode, des électrons sont aussi émis par celle-ci. Le mouvement des électrons crée un courant électrique. Celui-ci se propage dans un circuit électrique sortant de la pile et allant alimenter les différentes composantes de la voiture. Puisque cette réaction chimique est réversible, lors de la phase de recharge, il est possible d'envoyer un courant électrique extérieur dans la pile afin d'inverser le sens de propagation des électrons dans le circuit électrique. Cela incite les ions lithium à se déplacer de la cathode vers l'anode en repassant par le séparateur.

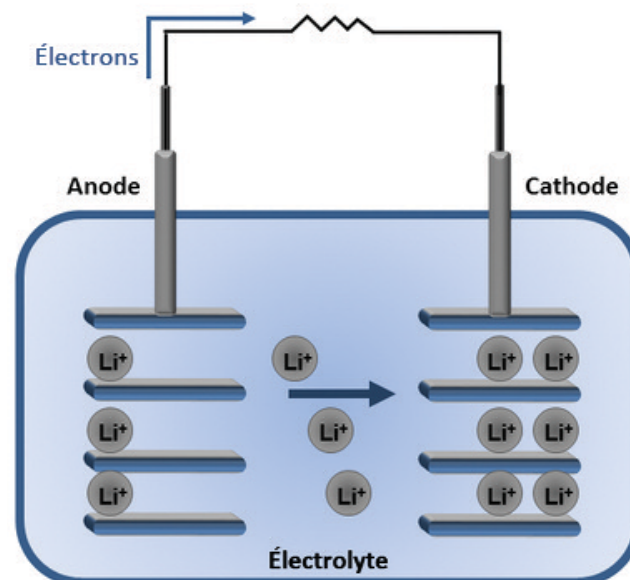
### Autonomie

Sur un cycle de vie complet d'une batterie lithium-ion, il est possible de rouler entre 200 000 et 500 000 kilomètres dépendamment de l'année de fabrication de la voiture et de la technologie utilisée.

L'autonomie d'une voiture électrique peut varier entre 150 km et 250 km et le temps de recharge de la voiture varie également en fonction de la tension électrique de la borne. Pour une voiture utilisant une borne de 400V, le temps de recharge se situe entre 30 minutes et une heure. Pour une prise domestique de 120V, la durée peut s'élever à 12 heures.

L'autonomie diminue également par temps froid. L'autonomie de ces voitures peut baisser de 40 % en hiver. La recharge n'est cependant pas affectée si elle est faite avec une prise domestique ou une borne de courant alternatif de 240V. Avec une borne de 400V en courant continu, la période de recharge peut doubler par temps froid et peut également endommager la batterie.

Batterie Lithium-ion : Alimenter un appareil



**FIGURE 1** Principe de décharge d'une batterie lithium-ion. Source : Julianne Troiano. Lithium-ion Battery : Powering a device [Image en ligne]. Octobre 2013 [consulté le 17 avril 2019]. Disponible : <https://sustainablenano.files.wordpress.com/2013/10/lithium-ion-battery-powering-device.png>

## Aspect environnemental

Ailleurs dans le monde, et même au Canada, la majeure partie de l'énergie provient de sources fossiles comme le charbon et le gaz naturel. Ces sources d'énergie sont couramment utilisées en Alberta et en Saskatchewan, par exemple. En effet, 85 % de l'électricité y est produite à partir d'énergie fossile. En Chine et en Inde, ce sont les centrales au charbon qui dominent le marché. Quant à la France, 75 % de l'électricité qui y est produite provient du nucléaire, qui n'est pas sans conséquence pour l'environnement en raison des déchets radioactifs. Donc, la source d'électricité qui alimente la voiture électrique a un impact important sur l'empreinte écologique de la voiture.

Pour ce qui est de la composition des batteries des voitures électriques, celles-ci contiennent des matériaux, comme le lithium, produisant un impact environnemental important. La batterie d'une voiture électrique compte en moyenne trois kilogrammes de lithium. Au Québec, on retrouve une seule mine de lithium et une seule de graphite. Cela implique que le lithium est extrait majoritairement à l'étranger dans les pays comme l'Argentine, la Bolivie et le Chili. Ces pays constituent à eux trois 85 % de la réserve mondiale de lithium. Les batteries sont donc fabriquées à l'étranger. De plus, environ 70 % de la production mondiale de batteries lithium-ion a lieu en Chine. Il est donc nécessaire d'importer les batteries d'outre-mer, ce qui augmente l'empreinte écologique de la voiture électrique.

Comme mentionné plus tôt, le lithium est l'un des matériaux essentiels à la conception de la batterie lithium-ion. Le processus d'extraction et de transformation du lithium comporte plusieurs étapes. La saumure contenant le lithium se trouve à quelques centaines de mètres sous terre. Il est donc nécessaire de l'extraire à l'aide d'une pompe puis de l'acheminer dans des bassins d'évaporation. Le lithium récupéré est ensuite transformé en carbonate de lithium en usine. Par exemple, sur certains sites d'extraction en Argentine, les usines ont besoin de dix litres d'eau par seconde pour maintenir un rythme constant de production de 17 500 tonnes de lithium par année. Il ne faut pas omettre que le raffinage de ce minerai émet également des gaz à effet de serre. Pour ce qui est de l'assemblage des matériaux de la batterie, celle-ci reste très énergivore en raison de l'utilisation de fours à très haute température.<sup>1</sup>

Avant même sa fabrication, la voiture électrique produit des gaz à effet de serre. Par contre, une fois sur les routes, la voiture électrique émet 65 % moins de gaz à effet de serre qu'une voiture à essence pour les 150 000 premiers kilomètres parcourus. Ce pourcentage augmente ensuite à 80 jusqu'à 300 000 kilomètres.

Aussi, le gouvernement de l'Alberta prévoit fermer l'entièreté de ses centrales au charbon d'ici les onze prochaines années, ce qui offrirait la possibilité de rendre plus écologique la production de l'électricité et entraînerait une plus grande rentabilité environnementale des voitures électriques au Canada.



**FIGURE 2** Voiture électrique. Source : David Villarreal Fernandez. Electric Drive [Image en ligne]. Janvier 2014 [consulté le 17 avril 2019]. Disponible : [https://c1.staticflickr.com/5/4020/4672454799\\_b8599e71d9\\_b.jpg](https://c1.staticflickr.com/5/4020/4672454799_b8599e71d9_b.jpg)

Le recyclage de batteries lithium-ion demeure un enjeu environnemental, mais en raison de la popularité croissante des voitures électriques, de plus en plus de compagnies comme Toxco, un géant dans le recyclage de batteries au plomb-acide, recyclent maintenant les batteries lithium-ion. De plus, Lithion Recycling Inc. offre une solution afin de recycler 95 % des batteries lithium-ion en récupérant des matériaux pouvant servir à la fabrication de nouvelles batteries.<sup>2</sup>

Même si une batterie n'est plus fonctionnelle pour une voiture, elle le reste pour d'autres types d'utilisation. Effectivement, Nissan et son partenaire 4R Energy Corporation ont fait équipe avec la ville de Namie, au Japon, pour mettre sur pied un projet-pilote. L'objectif? Réutiliser les batteries des véhicules LEAF et en faire un système d'éclairage urbain autonome qui ne nécessite ni connexion fixe ni fil. Le système ne serait alimenté que par des batteries usagées et des panneaux solaires. Toutes ces solutions permettent de se rapprocher d'une économie circulaire visant à préserver l'environnement.<sup>3</sup>

## Les pratiques qui fondent l'économie circulaire



PHD2050, 2014 d'après ADEME, 2013.

**FIGURE 3** Les différents aspects de l'économie circulaire. Source : Eric Delcroix. Les pratiques qui fondent l'économie circulaire [Image en ligne]. 2013 [consulté le 17 avril 2019]. Disponible : <https://www.flickr.com/photos/eric-delcroix/14327357254>

En fin de compte, la voiture électrique est plus respectueuse de l'environnement que la voiture à essence. Par contre, aucune voiture n'est parfaite. Ainsi, le choix de sa voiture dépend de ses valeurs et ce n'est pas la variété qui manque. En effet, on peut choisir parmi les voitures électriques aux batteries de lithium, les voitures alimentées par biocarburants ou même par de l'hydrogène!

« Si vous avez le choix de ne pas avoir de véhicule, n'en achetez pas. Si vous n'avez pas le choix, prenez-le électrique. »

Martin Archambault, porte-parole de l'Association des véhicules électriques du Québec.

## RÉFÉRENCES :

1. Loquet A. Corruption, pollution, consommation : les ravages du lithium en Argentine [Internet]. Reporterre, le quotidien de l'écologie. 22 juillet 2014 [cité le 17 février 2019]. Disponible sur: <https://reporterre.net/Corruption-pollution-consommation-les-ravages-du-lithium-en-Argentine>
2. Lithion Recycling Inc. [Internet]. Sustainable Development Technology Canada. 2019 [cité le 7 mars 2019]. Disponible sur: <https://www.sdtc.ca/fr/company/lithion-recycling-inc/>
3. Beaulieu O. Nissan utilise ses batteries usagées pour éclairer le Japon [Internet]. Le Guide de l'auto. 29 mars 2018 [cité le 7 mars 2019]. Disponible sur: <https://www.guideauto-web.com/articles/45892/>

# Gare à votre pizza, elle contient des maths ! (Et toute votre vie aussi, d'ailleurs.)

Par Simon Desjardins, Mathieu Nadon-Marier et Vincent Perron

*Vous saisissez votre pointe de pizza, affamé, mais, malheur ! elle pique du nez. Vous lui donnez alors une incurvation, et elle résiste à l'appel de la gravité. Intrigant, non ? Laissez-vous alors tenter par cette incursion dans les mathématiques des courbures...*

La plus récente ébauche concernant les courbures mathématiques, celle utilisée aujourd'hui, est une élaboration de Carl Friedrich Gauss. Parmi la grande famille de scientifiques et chercheurs renommés, Gauss (1777-1855) est, de l'avis de plusieurs, l'un des plus grands mathématiciens de tous les temps, sinon le plus grand. Ce génie des mathématiques pures, qui passa toute sa vie dans son Allemagne natale, réalisa des découvertes remarquables dès un très jeune âge. À 9 ans, il calcula la somme des 100 premiers nombres à l'aide de la formule  $\frac{100 \cdot 101}{2} = 5050$ , exploit remarquable pour un si jeune homme ! En effet, Gauss est issu d'une famille pauvre et les études n'étaient pas le parcours de vie le plus valorisé dans son entourage. Cette situation ne l'a pas empêché de persister dans sa vocation et aujourd'hui, la liste de ses découvertes et résultats est d'une longueur époustouflante. Ses résultats touchent à une variété de domaines, dont les mathématiques, la physique et la photographie <sup>1</sup>.

Le calcul de courbure de différentes fonctions mathématiques est, tel que mentionné plus haut, un des éléments de la gigantesque œuvre de Gauss. Ce calcul permet, entre autres, d'expliquer pourquoi il est impossible de représenter parfaitement une surface courbe sur une surface plane. Il s'applique également dans le monde physique, en permettant une répartition des forces qui augmente la rigidité de certains matériaux. La validité de ces résultats est rendue possible par la démonstration du *Theorema Egregium*.

## Qu'est-ce donc qu'une courbure ?

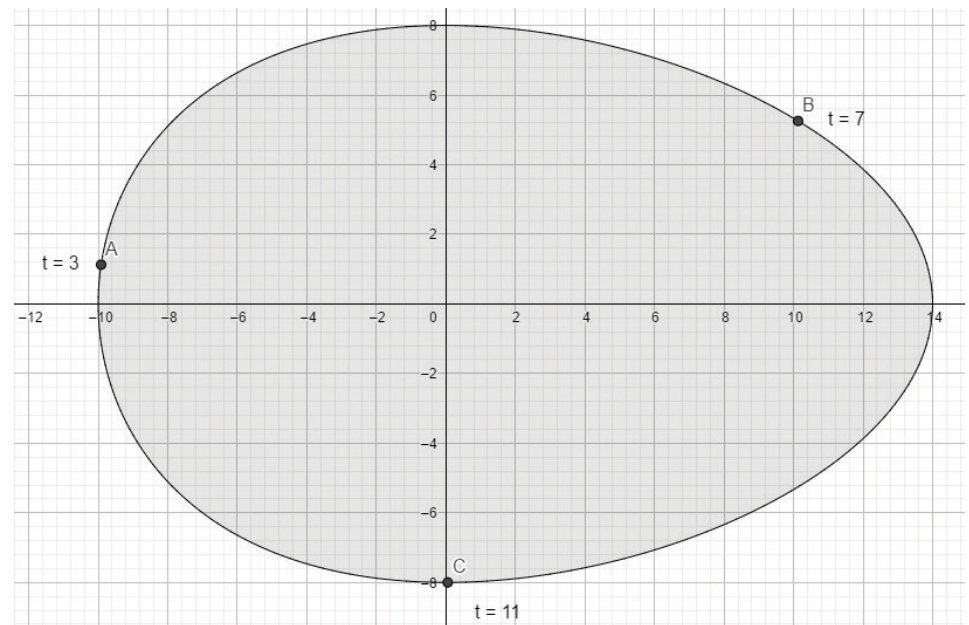
Avant de parler plus en détail de ce fameux théorème, il importe de définir ce qu'est exactement une courbure. Cette dernière est une valeur numérique qui représente à quel point

une courbe est, en quelque sorte, courbée en un point. Elle permet ainsi d'associer un nombre, un ordre de grandeur, aux différents objets mathématiques que sont les courbes et les surfaces. Pour la calculer, il existe plusieurs méthodes différentes, certaines plus rapides que d'autres. Les deux démarches présentées, soit la méthode des normes et la méthode générale, sont les plus utilisées de nos jours.

## Avec la méthode des normes

Cette méthode, en apparence simple et efficace, est la plus longue des deux. Elle nécessite le calcul différentiel et la notion de paramétrisation naturelle, mais soyez sans crainte, ça n'a pas besoin d'être poussé trop loin ! Tout d'abord, une paramétrisation consiste à faire dépendre d'une seule autre variable, comme le temps, les deux variables interreliées d'une équation. L'équation initiale peut alors s'écrire comme un couple de fonctions qui dépend d'une seule et même variable :

$$(x; y) \Rightarrow (x(t); y(t))$$



**FIGURE 1** L'œuf de Hügelschäffer. Les courbures aux points A, B et C sont respectivement de 0,13125; 0,06911 et 0,05689. Source : Simon Desjardins, image créée à l'aide du logiciel Geogebra, 2019, Salaberry-de-Valleyfield.

Tout, de votre alimentation aux composantes de votre maison, est concerné par ce théorème.

Une paramétrisation naturelle vise ensuite à faire en sorte que la vitesse du point qui se déplace le long de la courbe soit 1, ce qui requiert quelques manipulations algébriques supplémentaires. En ce sens, le calcul différentiel sert essentiellement à trouver une formule définissant la vitesse d'une équation en un point donné, ce qui est appelé la « dérivée » de cette équation. Lorsqu'on dérive l'équation paramétrée naturellement une deuxième fois et qu'on en trouve la vitesse à nouveau, on obtient l'équation de la courbure de la fonction étudiée pour n'importe quel point sur cette fonction.



Cette marche à suivre fonctionne assez bien avec des fonctions simples, telles que le cercle et la droite. Par exemple, il est possible de trouver avec la démarche précédente que les courbures d'un cercle et d'une droite sont respectivement, en tout point, de  $\frac{1}{R}$  et 0, où  $R$  est le rayon du cercle.

Cependant, cette technique est assez longue à appliquer dans le cas de fonctions plus complexes. Elle est aussi très sensible aux erreurs de calcul, car une faute se transmet d'étape en étape.

### Avec la méthode générale

Cette deuxième méthode, bien qu'elle soit un peu moins fastidieuse que la première, est quand même plus utilisée puisqu'elle ne requiert qu'une paramétrisation quelconque, donc elle ne requiert pas de calculs pour imposer une vitesse unitaire. L'équation générale suivante est le cœur de cette méthode :

$$\kappa(t) = \frac{x'(t)y''(t) - x''(t)y'(t)}{(x'(t)^2 + y'(t)^2)^{3/2}}$$

Les courbures du cercle et de la droite évoquées plus haut peuvent être également démontrées par cette équation. Toutefois, son usage s'applique davantage aux équations présentant une certaine lourdeur ou qui deviennent simplement trop compliquées à paramétrer naturellement. Voici un exemple d'un objet du quotidien qui nécessite cette méthode générale. Parmi les différentes fonctions d'ovoïdes, lesquelles tentent toutes de représenter de façon cartésienne le plus fidèlement possible l'œuf de poule, l'équation de Hügelschäffer est la plus réussie. Son développement seul laisse entrevoir une démarche exagérément longue si la méthode des normes est utilisée, ainsi la méthode générale sera favorisée. La paramétrisation de l'équation de Hügelschäffer fournit le résultat suivant :

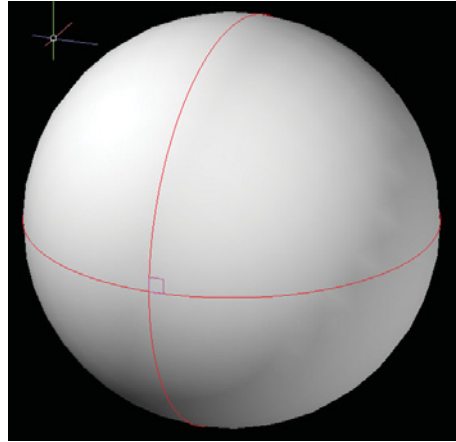
$$\begin{cases} x = (\sqrt{3^2 - 2^2 \sin^2(t)} + 2 \cos(t)) \cos(t) \\ y = 7 \sin(t) \end{cases}$$

La formule de la courbure obtenue à partir de ces équations réveillera les monstres sous votre lit, mais elle remplit tout de même son rôle. En effet, grâce à cette dernière, on peut se rendre compte que la courbure n'est pas la même partout sur l'œuf, tel que présenté sur la figure 1. C'est là qu'on se rend compte de l'utilité de la paramétrisation.

### Et en 3D ?

Pour calculer une courbure en trois dimensions, il faut tout d'abord repérer la courbe ayant la courbure minimale de la forme 3D et la multiplier par la courbure de la courbe qui lui est perpendiculaire. Par exemple, puisque

la Terre est approximativement une sphère et donc une figure géométrique uniforme, pour trouver sa courbure, il suffit de multiplier la courbure d'un cercle par elle-même, ce qui donne  $\frac{1}{R^2}$ . Puisque la plupart des éléments de notre vie possèdent une forme tridimensionnelle, il est très pratique de connaître la notion de courbure en 3D.

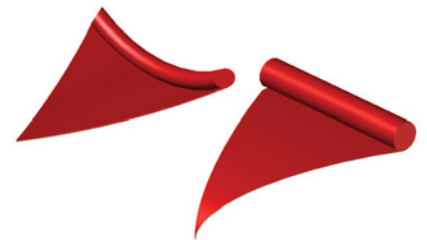


**FIGURE 2** Les cercles formant la sphère qu'est la Terre. Source : Mathieu Nadon-Marier, image créée à l'aide du logiciel AutoCAD, 2019, Salaberry-de-Valleyfield.

Au courant de ses recherches et expérimentations sur les courbures, Gauss arriva à un résultat qui le surprit énormément. Son théorème énonce que si deux surfaces possèdent la même courbure de Gauss, peu importe si elles se ressemblent ou non, alors elles peuvent être obtenues l'une à partir de l'autre par de simples manipulations non violentes. Le terme « violent » définit ici toute transformation qui modifie la nature de la surface. Par exemple, un simple pli ou une déchirure dans la surface sont considérés comme des transformations dites « violentes ». C'est pour cette raison que les cartes du monde, telles que les projections de Mercator, doivent subir des modifications pour être adaptées au plan. Il trouva ce résultat tellement remarquable qu'il lui donna le nom de *Theorema Egregium*, « Théorème remarquable » en latin.

À ce point-ci, on comprend que vous ne voyez peut-être pas encore où on se dirige avec toutes ces notions mathématiques. Eh bien ! tout, de votre alimentation aux composantes de votre maison, est concerné par ce théorème. Il n'est pas remarquable pour rien ! Pour l'appliquer, il faut faire preuve d'ouverture d'esprit. Par exemple, votre pointe de pizza n'est plus une simple pointe, mais plutôt une surface, où deux équations perpendiculaires sont multipliées. Lorsque vous recevez votre pizza entière, elle est plane donc sans courbure.

En effet, peu importe l'axe choisi, on trouvera une droite, donc une courbure nulle. Quand vous prenez votre pointe par la croute, l'extrémité pointue pend par la gravité. Cependant, la courbure est encore nulle, car il y a une droite dans la forme que prend alors votre pizza. Ainsi, en prenant n'importe quelle courbure perpendiculaire à la droite, la courbure de votre pizza reste de zéro. De même, lorsque vous donnez à votre pizza une forme plus commode, il y a encore une droite, laquelle relie cette fois le centre de la croute à la pointe, et le même principe s'applique. Donc, sans transformations violentes, votre pizza conserve la même courbure de zéro.



**FIGURE 3** Les configurations de votre pointe de pizza. À droite, elle pend par la gravité. À gauche, elle tient grâce au *Theorema Egregium*. Source : Mathieu Nadon-Marier, image créée à l'aide du logiciel AutoCAD, 2019, Salaberry-de-Valleyfield.

Les matériaux de votre maison, comme votre toit en tôle, contiennent aussi une application du « Théorème remarquable ». Sa forme ondulée a le même effet que de faire plier une pointe de pizza : on le force ainsi à avoir une courbure nulle dans un sens seulement. En effet, en regardant un toit de tôle, on constate qu'il a la forme de petites vagues, mais si on l'observe perpendiculairement, se sont une série de lignes droites, de courbure nulle, qui apparaissent sous nos yeux. C'est pour cette raison que, si installé correctement, votre toit sera rigide.

En somme, le Théorème remarquable de Gauss trouve une multitude d'applications, tant dans le monde physique que dans la forme de certains de nos aliments. Il suffit, après avoir pris connaissance du sujet, d'y prêter attention.

### RÉFÉRENCES :

1. Weller K. Carl Friedrich Gauss [Internet]. 1999 [cité le 2 avril 2019]. Disponible sur: <http://www.math.wichita.edu/history/men/gauss.html>
2. Guedj V. Géométrie différentielle [Internet]. Sciences.ch. 31 décembre 2017 [cité le 5 mars 2019]. Disponible sur: <http://www.sciences.ch/htmlfr/geometrie/geometriedifferentielle01.php>
3. Bhatia A. How a 19th Century Math Genius Taught Us the Best Way to Hold a Pizza Slice [Internet]. Wired. 9 mai 2014 [cité le 5 mars 2019]. Disponible sur: <https://www.wired.com/2014/09/curvature-and-strength-empzeal/>

# La colonisation de Mars, tout un défi !

Par Emmanuel Désilets, Anthony-Joël Gosselin, et Volodymyr Kuchmiy

*Mars est une des planètes candidates pour accueillir la première colonie humaine hors de la Terre. Dans le passé, elle avait presque les mêmes caractéristiques que la Terre; maintenant, elle est devenue une planète désertique. Une colonie sur Mars serait-elle viable ?*

Depuis la course à l'espace, l'humanité rêve de s'établir sur une planète autre que la Terre. La popularité des films de science-fiction en est la preuve. Depuis le début de l'année 2018, la compagnie aéronautique américaine SpaceX travaille sur le projet spatial le plus ambitieux depuis l'atterrissage de l'homme sur la Lune en 1969. Le but de ce projet est d'établir la première colonie humaine permanente sur la planète Mars. Ce projet est rempli de défis qui devront être surmontés afin de s'adapter à la planète Mars. Voici les cinq principaux : l'absence d'eau liquide, l'atmosphère ténue et irrespirable, la forte radiation provenant du Soleil, la faible gravité planétaire et le maintien d'une source d'énergie pour alimenter l'équipement nécessaire à la colonisation. Cela nous amène à nous poser la question suivante : la colonisation de Mars serait-elle possible ?

## L'accès à l'eau

Tout d'abord, pour coloniser Mars, la colonie aura besoin de l'élément le plus essentiel à la vie : l'eau. Selon nos connaissances, l'eau sur Mars se retrouve sous forme de glace à la surface ou de vapeur d'eau dans l'atmosphère. Nous savons maintenant aussi que de l'eau liquide se cache sous la surface de Mars, mais celle-ci est inaccessible car trop profonde. Très peu de vapeur d'eau subsiste dans l'atmosphère : environ dix-mille fois moins que d'eau sous forme de glace. Il y a deux importantes calottes de glace sur Mars, situées à chaque pôle de la planète. Donc, pour l'instant, les pôles sont les meilleurs endroits où s'installer pour avoir accès à de l'eau sur Mars.

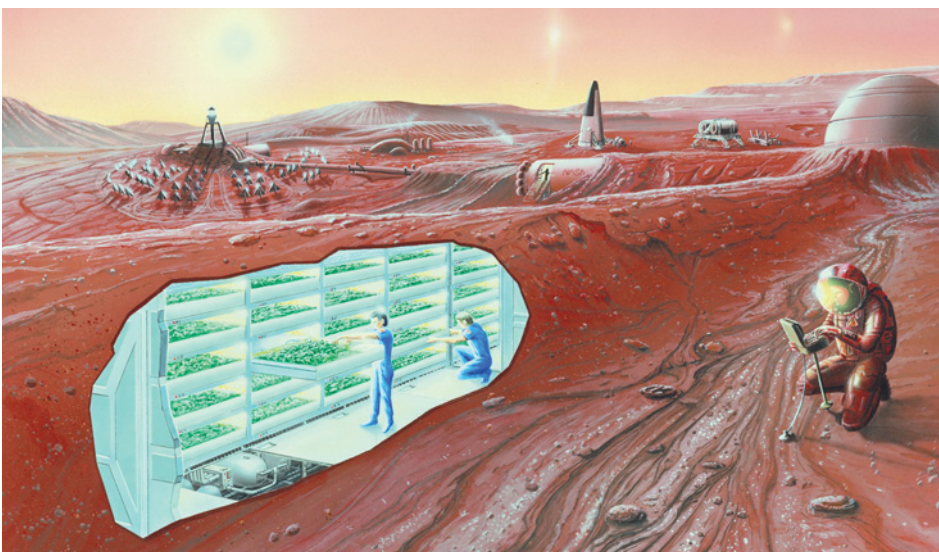
## Produire de l'air respirable

L'atmosphère de Mars est principalement composée de CO<sub>2</sub> (à 95 %). Ce gaz est présent aussi dans notre atmosphère, mais en très faible quantité. Conséquemment, sur Mars il n'y a pas d'oxygène qu'on peut respirer. De plus, la pression atmosphérique sur Mars est très basse, environ 168,8 fois moindre que celle de l'atmosphère terrestre. Cette basse pression ne permet pas à l'eau d'être liquide à la surface, puisqu'elle se sublime en vapeur à partir de la glace. Ceci explique entre autres pourquoi il n'y a plus d'océans ou de rivières sur Mars.

Puisqu'il n'y a pas d'oxygène, nous devons soit en apporter de la Terre ou en produire sur Mars. La meilleure option serait de le produire sur Mars, puisque le transport du matériel demande plus de vaisseaux spatiaux et de carburant, donc plus d'argent. Nous pouvons faire de l'oxygène sur Mars à partir de l'électrolyse, c'est-à-dire prendre de l'eau et séparer l'oxygène et l'hydrogène qui la composent en envoyant un courant électrique. Ceci nous donne de l'oxygène, ainsi que de l'hydrogène qui peut être utilisé comme carburant. Bien que l'hydrogène soit un bon carburant, l'électrolyse demande plus d'énergie que l'énergie produite par l'hydrogène. Alors, il faut prévoir une autre source d'énergie, ce qu'on va voir plus tard.<sup>1</sup>

## Se protéger des radiations

Un autre problème qu'une colonie sur Mars rencontrera est la radiation. Contrairement à la Terre, Mars n'a aucun champ magnétique. De plus, l'atmosphère de Mars est très mince, donc, contrairement à l'atmosphère terrestre, elle n'arrête presque aucune radiation. Les radiations émanent de deux sources : les protons qui proviennent des éruptions solaires, puis les rayons cosmiques venant de l'extérieur du système solaire. Ceux-ci sont similaires à ceux du Soleil sauf qu'ils sont beaucoup plus énergétiques et se déplacent à une vitesse proche de celle de la lumière.



**FIGURE 1** Cette image représente une des structures possibles pour l'établissement d'une colonie sur Mars. Source : NASA Ames Research Center. Concept Mars colony. [Image en ligne] 11 octobre 2005. [Consulté le 17 avril 2019]. Disponible : [https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Concept\\_Mars\\_colony.jpg](https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Concept_Mars_colony.jpg)



**FIGURE 2** Sur cette photo, prise par la sonde Osiris, on peut voir clairement les pôles de Mars qui seraient des endroits idéaux pour l'établissement d'une colonie. Source : ESA. True-colour image of Mars seen by OSIRIS. [Image en ligne] 25 février 2007 [Consulté le 17 avril 2019]. Disponible : [http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2007/02/True-colour\\_image\\_of\\_Mars\\_seen\\_by\\_OSIRIS](http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2007/02/True-colour_image_of_Mars_seen_by_OSIRIS)

Pour établir une colonie, il faudra arrêter le plus de radiations possible afin d'éviter des problèmes de santé. Heureusement, les protons provenant du Soleil peuvent être arrêtés facilement par une couche d'eau ou de glace d'environ 12 cm puisque l'eau est un élément très efficace pour arrêter les radiations<sup>2</sup>. Par contre, les rayons cosmiques sont trop énergétiques pour être arrêtés par l'eau, mais ils pourraient être arrêtés par une couche d'hydrogène. En produisant de l'oxygène par électrolyse, nous obtenons aussi de l'hydrogène. Cet hydrogène pourrait être utilisé pour bloquer une partie des rayons cosmiques. On estime que les astronautes qui partiront sur Mars vont augmenter leur risque d'un cancer fatal d'environ 1 % sur une période de trente ans, puisque les radiations ne pourront pas toutes être stoppées.

### S'adapter à la faible gravité

Par la suite, un des plus grands problèmes qu'on remarquerait rapidement sur Mars est sa faible gravité. Mars a une gravité de 3,71 m/s<sup>2</sup>, ce qui est environ trois fois plus faible que celle de la Terre ! Cette faible gravité est en grande partie responsable de l'atmosphère ténue de Mars. De plus, on sait maintenant que la présence à long terme d'une gravité faible mène à l'atrophie des muscles squelettiques. Pour remédier temporairement à ce problème, les colons devront faire des exercices physiques chaque jour. D'un autre côté, cette faible gravité peut amener des avantages pour les colons. L'un d'entre eux est l'économie d'énergie pour les véhicules électriques, car il y aurait moins de friction de l'air à cause de la faible densité de l'atmosphère.

### Produire son énergie

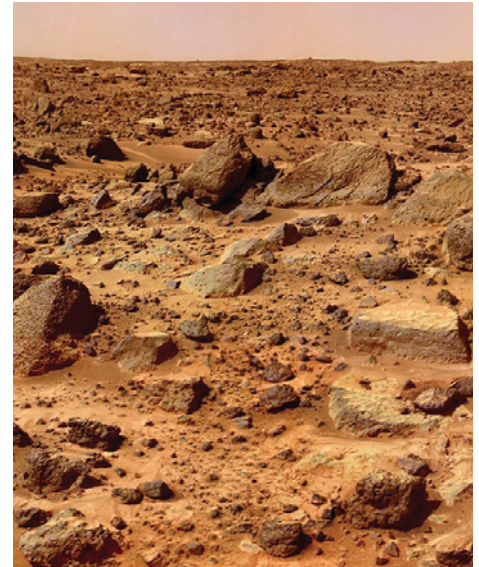
Une colonie sur Mars devra évidemment s'alimenter en énergie. L'énergie serait utilisée pour produire de l'oxygène, réchauffer les habitations, charger les batteries des véhicules, etc. Ceci a l'air d'un problème simple, mais c'est plus complexe quand on prend en considération les conditions de la planète. Au premier regard, les panneaux solaires semblent un bon choix, mais Mars est située 1,52 fois plus loin du Soleil que la Terre; l'intensité du Soleil y est donc beaucoup plus faible. De plus, les tempêtes de poussière qui y sévissent peuvent durer des semaines. Ces deux facteurs pourraient amener la colonie à manquer d'énergie, même si l'on utilise des batteries. Par contre, les panneaux solaires pourraient être utiles plus tard, lorsque la colonie serait bien établie.

Une solution plus simple serait la construction d'un réacteur nucléaire permettant la fission. La fission nucléaire consiste à envoyer un neutron sur un atome lourd (uranium) pour le séparer en deux éléments plus petits. Il faudrait seulement apporter de la Terre des éléments radioactifs comme l'uranium. Les avantages d'un réacteur nucléaire comme source principale d'énergie sont considérables : il ne sera pas affecté par l'environnement et il ne faut pas beaucoup de carburant pour produire une grande quantité d'énergie.<sup>2</sup>

En conclusion, plusieurs problèmes restent à surmonter pour coloniser Mars. L'eau est le premier, mais il est simple à résoudre puisque des calottes polaires peuvent être exploitées. Il nous faut aussi de l'oxygène, qui peut être produit à partir de l'eau grâce à l'électrolyse. Ensuite, il faut protéger les habitants contre les radiations provenant de l'espace.

---

**Il faut protéger les habitants contre les radiations provenant de l'espace. Pour ce faire, il faudrait ajouter une couche d'eau et d'hydrogène autour de l'habitation.**



**FIGURE 3** Cette photo montre l'aspect hostile de la surface de Mars et le terrain que devraient parcourir les colons. Source : NASA. [Image en ligne] 9 janvier 2012. [Consulté le 17 avril 2019]. Disponible : <https://pixabay.com/fr/photos/mars-planet-surface-espace-11604/>

Pour ce faire, il faudrait ajouter une couche d'eau et d'hydrogène autour de l'habitation. Ensuite, la planète Mars a une gravité plus faible que la Terre, donc les colons devront s'entraîner pour limiter les problèmes de santé. Enfin, la colonie aura besoin d'énergie. La meilleure solution serait d'exploiter un réacteur nucléaire capable de produire toute l'énergie nécessaire, puisque les panneaux solaires ne sont pas assez fiables et adaptés aux conditions de la planète. Bien que Mars soit une candidate pour être colonisée, d'autres planètes pourraient l'être aussi. Vénus, par exemple, a dans son atmosphère une zone où la gravité est proche de celle de la Terre et où la température est correcte. Par contre, ces colonies devraient être flottantes puisque la surface de la planète est beaucoup trop chaude.

### RÉFÉRENCES :

1. Masson P, Rocard F, de Goursac O, Chassefière É. MARS, planète - Universalis.edu [Internet]. 2019 [cité le 1 mars 2019]. Disponible : <https://universalis-valleyfield.proxy.collecto.ca/encyclopedie/mars-planete/>
2. Sicotte V. Mars, un nouveau monde. Québec science. 2000 : 38 (5) : p. 16-22. Disponible sur <http://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/2874258>

# L'ordre qui dicte le chaos

Par Simon Blais, Xavier Pinsonneault et Matthew Visockis

*Faites-vous partie de celles et ceux qui croient que la science a le pouvoir de prédire tous les phénomènes, et même, un jour, de prédire le futur? Si oui, armez-vous de patience. La théorie du chaos pourrait bien mettre des bâtons dans les roues de vos aspirations.*

La théorie du chaos est une théorie assez récente dans le domaine des sciences. Elle date des années 1970. Cependant, depuis des expériences menées par le météorologue et mathématicien américain Edward Lorenz, cette théorie gagne en popularité. D'ailleurs, plusieurs films, séries ou jeux vidéos abordent cette thématique sous le nom de « l'effet papillon ». Bien que cette expression surgisse fréquemment dans la culture populaire, il peut être difficile d'en saisir exactement le sens. Cette théorie étudie les systèmes à plus d'une variable qui évoluent dans le temps de manière non linéaire. De plus, les variables de ce type de système sont très sensibles aux modifications, c'est-à-dire que deux systèmes ayant des valeurs de départ très semblables vont évoluer dans le temps de manière totalement différente. Par exemple, si on laisse osciller deux pendules en même temps avec le même angle initial, les pendules suivront, après une certaine période de temps, une trajectoire complètement différente. Ceci s'explique par le fait qu'il est impossible de relâcher deux pendules exactement avec le même angle et au même moment. Il y aura toujours une différence, aussi minime soit-elle. Cette dernière finira, à long terme, par avoir des effets considérables. On dira donc que le système du double-pendule est très sensible à la modification des paramètres initiaux. Alors, que pouvons-nous conclure de l'expérience du double-pendule?

Il est pratiquement impossible de prédire la manière dont un système chaotique va se comporter.

Il est pratiquement impossible de prédire la manière dont un système chaotique va se comporter. En effet, pour simuler l'évolution d'un système, il faut connaître les conditions initiales de celui-ci. Si notre connaissance des conditions initiales utilisées pour faire ces calculs n'est pas assez précise, la simulation nous offrira une prédiction qui sera complètement erronée en comparaison avec le phénomène réel. De plus, si le phénomène que l'on cherche à prédire n'est pas isolé, il est possible que des éléments extérieurs viennent le modifier, rendant difficile l'étude exacte de ce dernier.

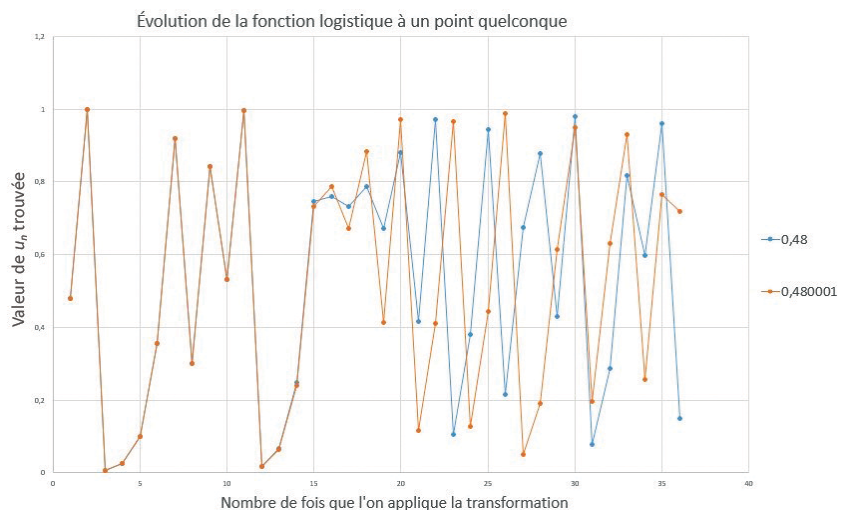
On sait aujourd'hui qu'un grand nombre de systèmes qui nous entourent sont chaotiques. Les marchés financiers, la météo et l'écosystème en sont de bons exemples. Est-ce que cela veut dire que tout est perdu pour ceux qui misent sur la science pour prévoir l'évolution du monde? Pas nécessairement, parce que les systèmes chaotiques possèdent souvent des *attracteurs*. Un attracteur est une valeur autour de laquelle le système va converger. Lorsqu'un système chaotique possède deux attracteurs, l'évolution du système, pour plusieurs groupes de valeurs initiales, se dirigera toujours vers l'un ou l'autre des attracteurs. Les attracteurs peuvent donc permettre une certaine clairvoyance globale.

Un exemple de système chaotique est la suite logistique, une suite mathématique qui peut être utilisée pour décrire l'évolution des populations<sup>1</sup>. Cette suite est donc très utile en médecine, en biologie et en pharmaceutique. Chaque terme de la suite est donné par l'expression suivante :

$$u_{n+1} = \mu u_n (1 - u_n)$$

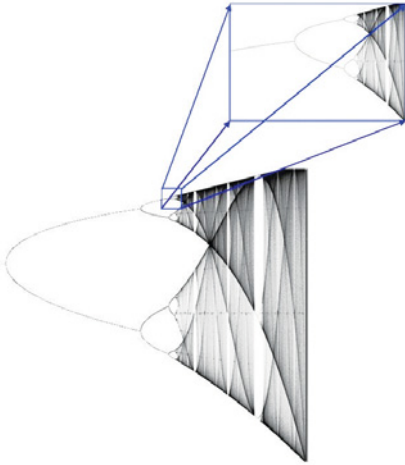
Dans cette expression, le coefficient  $\mu$  désigne le coefficient d'accroissement de la population, alors que  $u_n$  est un nombre entre 0 et 1 désignant le rapport entre la population actuelle et la population maximale. Le résultat obtenu,  $u_{n+1}$ , sera utilisé dans le prochain terme de la suite, afin de répéter le processus. Cette suite peut être vue comme une fonction quadratique. Ainsi, on peut démontrer que  $\mu$  doit avoir une valeur comprise entre 0 et 4 pour s'assurer que les  $u_n$  restent entre 0 et 1. De plus, en étudiant cette suite, nous remarquons que lorsque  $\mu$  égale 4, le système est très sensible aux paramètres initiaux.

Nous observons que la suite semble agir de la même manière au début de la simulation Excel. Cependant, malgré le très petit écart entre les termes initiaux, elle devient très rapidement imprévisible. C'est ce qui qualifie les systèmes chaotiques. Les plus grandes différences apparaissent lorsque nous faisons varier  $\mu$ .



**FIGURE 1** Simulation du comportement de la suite avec un coefficient  $\mu$  égale à 4 et des termes initiaux très semblables. Source : Simon Blais, Xavier Pinsonneault, Matthew Visockis, graphique créé à l'aide du logiciel Excel, 2019, Salaberry-de-Valleyfield.

En augmentant la valeur du coefficient, la suite passe d'un seul point de convergence à plusieurs jusqu'à une infinité. C'est lorsqu'il y a un nombre suffisant de points de convergence différents qu'il est possible de qualifier la suite de « chaotique ».



**FIGURE 2** Figure de convergence de toutes les valeurs un en fonction de leur coefficient  $\mu$  associé. Source : Mathemathieu. Dynamique des populations et théorie du chaos [Image en ligne] 18 février 2019 [consulté le 12 avril 2019]. Disponible : (<http://www.mathemathieu.fr/art/articles-maths/42-theorie-chaos-effet-papillon-louapre>)

Sur ce graphique, nous pouvons voir les points de convergence de la suite en fonction du coefficient d'accroissement de la population  $\mu$  qui varie de 0 à 4. Nous pouvons remarquer que la suite est convergente et prédictible pour toutes les valeurs de  $\mu$  plus petites que 3,57. Alors, au-delà de cette valeur, la suite prend une allure tout à fait chaotique. Il est à remarquer que, dans cette région, la suite semble se comporter de façon complètement aléatoire, mais ce n'est pas le cas. En effet, la convergence de la suite crée une image que l'on qualifie de « fractale ».

Une fractale est une courbe, une surface ou un solide irréguliers qui se répète continuellement si nous changeons l'échelle d'observation, c'est-à-dire si nous agrandissons ou rapetissons l'image. Une question s'impose alors : existe-t-il d'autres structures fractales qui servent à décrire un comportement chaotique? La réponse est affirmative et elle peut être vérifiée avec les équations chaotiques du fondateur de la théorie du chaos, Edward Lorenz. Le mathématicien et météorologiste américain a donné son nom à un système d'équations qu'il a étudié lors de ses nombreuses recherches sur la théorie du chaos.

Le système possède des solutions chaotiques pour certains paramètres initiaux. Lorsqu'on représente graphiquement toutes ces solutions, on obtient une figure ayant une forme similaire à celle d'un papillon et connue sous le nom d'« attracteur de Lorenz ».

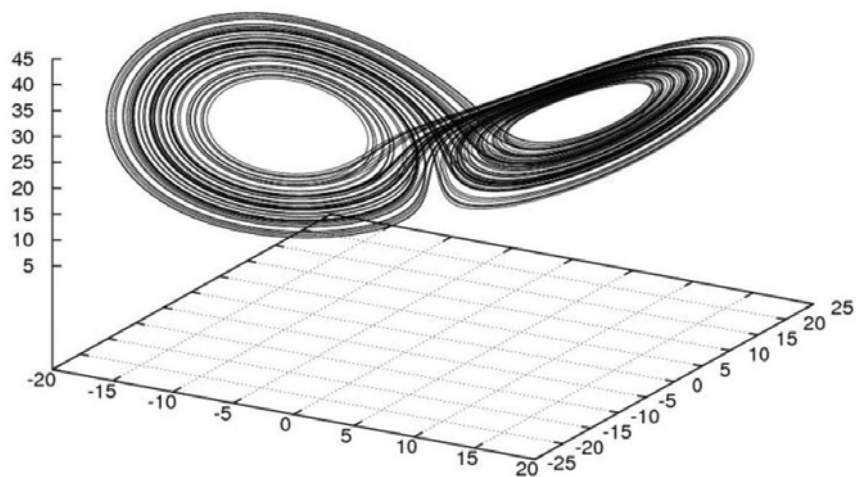
Les solutions sont donc imprévisibles et chaotiques, mais pas aléatoires. Cet attracteur nous permet donc de prévoir, à un certain degré, les solutions du système chaotique. C'est grâce à toutes ces observations que Lorenz a pu éventuellement développer ce qu'on appelle la « Théorie du Chaos », présente, notamment, en météorologie. Lorenz explique que le simple battement d'ailes d'un papillon peut être le facteur qui fera apparaître plus tard une tornade. C'est de là que naît le fameux « effet papillon ». Toutes ces découvertes nous ont vite permis de réaliser que la prédiction exacte des phénomènes météorologiques est impossible. On peut tout de même améliorer nos prévisions grâce aux découvertes de Lorenz. Par exemple, il existe une technique nommée « prévision d'ensemble » consistant à refaire plusieurs fois les mêmes prédictions en modifiant très légèrement les paramètres initiaux. Ces modifications causent des différences non négligeables entre les résultats calculés, ce qui nous permet d'établir une marge d'erreur et donc de tenir compte de la nature chaotique d'un tel système. Cette méthode s'avère particulièrement utile dans de dangereuses situations telles que l'approche d'un ouragan, où il est important d'être prêt à toute éventualité.

La théorie du chaos a donc une importance capitale dans le domaine de la météorologie, mais cela ne veut tout de même pas dire qu'elle n'en a pas ailleurs. En effet, le chaos est présent dans plusieurs domaines. En biologie, le moindre évènement, comme le transport accidentel d'un individu, peut complètement changer la façon dont une espèce évolue. En astrophysique, le mouvement des corps célestes peut devenir imprévisible à cause de l'énorme quantité d'interactions à considérer. En mécanique des fluides, chaque molécule peut avoir un effet drastique sur toutes celles qui l'entourent. On retrouve même le chaos en philosophie, où l'effet papillon nous permet de nous questionner sur la moralité de nos actions <sup>2</sup> : devons-nous les juger selon leurs conséquences, ou plutôt prendre en compte leur nature imprévisible et nous intéresser aux intentions qui les motivent? La théorie du chaos nous affecte tous énormément et elle pourrait révolutionner encore notre monde dans le futur, même s'il est impossible d'en être certain.

#### RÉFÉRENCES :

1. Perrin D. La suite logistique et le chaos [Internet]. 7 mars 2008 [cité le 12 avril 2019]. Disponible sur: <https://www.math.u-psud.fr/~perrin/Conferences/logistiqueDP.pdf>
2. Boutot A. La philosophie du chaos. Revue Philosophique de la France et de l'Étranger [Internet]. 1991 [cité le 12 avril 2019];181(2):145-78.

#### Attracteur de Lorenz



**FIGURE 3** Représentation graphique des solutions à nature chaotique du système de Lorenz, qui ressemble aux ailes d'un papillon. Source : La Théorie du chaos [Image en ligne]. 2005 [consulté le 12 avril 2019]. Disponible : <http://just.loic.free.fr/index.php?page=accueil>

# Pour le panda, la paresse, c'est la survie!

Par Grégory Martel, Simon Perrault et Loïck Perrault

*À votre prochaine visite au zoo, ne vous moquez plus de ce beau fainéant allongé au coin de l'enclos : derrière cette apparente paresse se cache l'une des plus incroyables adaptations du monde animal.*

Le panda géant (*Ailuropoda melanoleuca*) est un ursidé très particulier. Il y a plusieurs millions d'années, il habitait un territoire beaucoup plus vaste et diversifié qu'aujourd'hui et se nourrissait principalement de viande, comme ses confrères les ours. Cependant, ce territoire a grandement rapetissé au fil du temps, tant et si bien qu'il s'est retrouvé confiné au cœur des forêts de bambou chinoises. C'est là que s'est produit, peut-être aussi tardivement que 2000 ans avant l'Ère commune<sup>1</sup>, un grand bouleversement : le panda géant est devenu herbivore.

Les causes exactes de cette adaptation comportementale sont inconnues, mais celle-ci s'est installée bien avant que le système digestif du panda géant n'ait pu s'adapter à son nouveau régime alimentaire. Ceci fait en sorte que le panda, encore aujourd'hui, ne peut digérer qu'environ 17 % du bambou qu'il consomme<sup>2</sup>. Pour un mammifère de sa taille (de 4 à 6 pieds), c'est extrêmement inefficace! Les pandas reçoivent donc un apport nutritif inadéquat, bien qu'ils passent jusqu'à 14 heures par jour à s'alimenter<sup>2</sup>. Puisqu'il ne peut soutirer davantage de calories de son alimentation, le panda géant doit s'assurer de limiter ses dépenses énergétiques. Chez les mammifères, cela peut se faire par trois moyens : en réduisant l'activité physique, en réduisant la chaleur corporelle et en réduisant l'activité métabolique, soit l'apport énergétique aux différents organes. Le panda géant, peu difficile, utilise toutes ces méthodes afin de survivre. L'étude des adaptations au cœur de cette survie nous permet de découvrir la science qui se cache derrière la trompeuse paresse du panda et révèle de nouvelles perspectives de préservation pour cette espèce.

En observant l'activité, ou, plutôt, l'inactivité quotidienne d'un panda, on se rend bientôt à l'évidence : les publicités nous ont menti, ce n'est pas un animal qui bouge beaucoup.



**FIGURE 1** Plusieurs pandas assis paresseusement. Source : Chi King. Pandas!! (GIANT PANDA/WOLONG/SICHUAN/CHINA) [Image en ligne]. 25 décembre 2017 [consulté le 7 avril 2019]. Disponible : [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Giant\\_Pandas\\_having\\_a\\_snack.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Giant_Pandas_having_a_snack.jpg)

En effet, le panda moyen, en captivité, demeure stationnaire pendant près des deux tiers de sa journée. Ses activités se limitent alors à manger et à se faire beau pour ses nombreux visiteurs en admiration. Quoique les pandas sauvages se voient libérés de la responsabilité d'être mignons, ils ne sont guère plus actifs, consacrant toujours moins que la moitié de leur temps à l'activité physique. Ils bougent donc beaucoup moins que leurs cousins ursidés. Même lorsqu'ils se mettent en marche, forts de leurs multiples heures de repos, leur vitesse de déplacement moyenne n'est que de 0,027 km/h<sup>3</sup>. Ainsi, un panda, placé côte à côte avec Usain Bolt, terminera son 100 m alors que le Jamaïcain aura parcouru la distance entre Montréal et Ottawa. Cette « paresse physique » permet bien évidemment au panda géant d'économiser de l'énergie.

Un autre trait facile à remarquer du panda géant, et qui déçoit plus rarement lors des visites au zoo, c'est sa fourrure. Dense et arborant un motif en noir et blanc si célèbre qu'il constitue aujourd'hui l'essentiel de nombreux logos, cette fourrure constitue la seconde importante adaptation du panda géant. Loin de provenir d'un souci de beauté, cette fourrure permet au panda de conserver une chaleur corporelle adéquate, malgré les températures

froides des hautes altitudes qu'il habite. En effet, bien que le panda ne soit capable que d'une faible production de chaleur, toujours afin de ménager ses dépenses énergétiques, il réussit à maintenir sa température corporelle tout comme les autres mammifères<sup>3</sup>. Sa fourrure agit alors comme une couche d'ozone miniaturisée qui empêche la chaleur de quitter l'atmosphère immédiate de son corps. L'effet de serre chez le panda renvoie donc à deux réalités : à sa fourrure qui agit en tant que serre pour l'animal et à notre désir incontrôlable de

---

Un panda, placé côte à côte avec Usain Bolt, terminera son 100 m alors que le Jamaïcain aura parcouru la distance entre Montréal et Ottawa.

le serrer dans nos bras comme un gros toutou. Mentionnons toutefois que si l'animal paraît plutôt froid au contact, ce n'est pas parce qu'il refuse votre amour, mais plutôt parce que sa fourrure est si efficace que sa température de surface dépasse rarement la température ambiante<sup>3</sup>.

Ces deux adaptations, soit l'inactivité physique et la conservation de la chaleur à l'aide d'une dense fourrure ne sont pas uniques au panda. Plusieurs autres animaux, y compris des mammifères, utilisent l'une ou l'autre de ces méthodes d'économie énergétique. On n'a qu'à penser à l'exemple classique du paresseux, dont on devine l'origine du nom, ou à celui de l'échidné, un petit mammifère d'Océanie. Ce qui distingue toutefois le majestueux panda géant de ces dérisoires rivaux en paresse, c'est la présence d'une troisième adaptation, encore plus importante, et sans laquelle il ne pourrait survivre : la paresse métabolique.

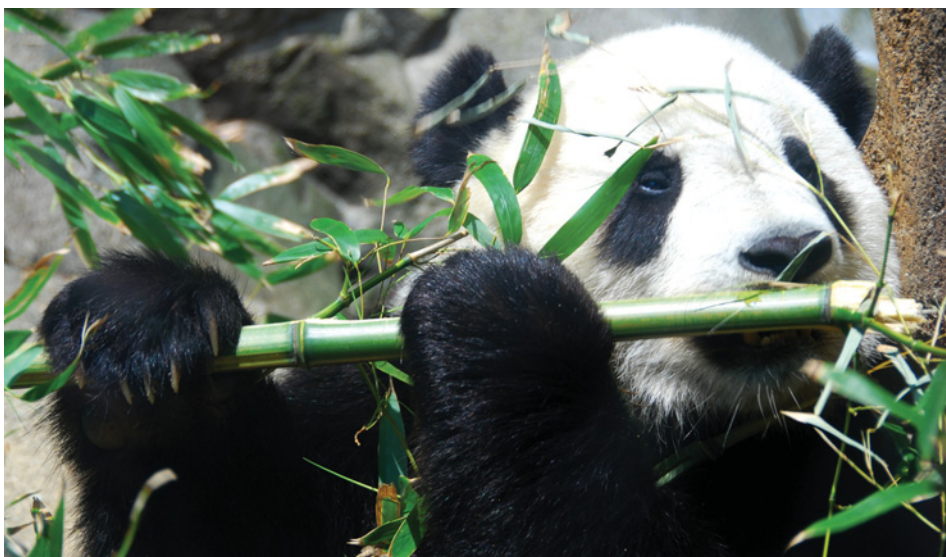
La majorité de l'énergie que vous avez dépensée aujourd'hui n'a malheureusement pas été dépensée en lisant cet article. Elle n'a pas été dépensée en marchant, en joggant, en sautant ou même en courant un marathon, si votre journée était bien chargée. La majeure partie de l'énergie que dépense l'humain et les autres mammifères de bonne taille provient de leur métabolisme de base, c'est-à-dire le coût énergétique assurant le bon fonctionnement de leurs organes. Alors, un animal qui saurait diminuer l'apport énergétique à ses organes aurait non seulement des super-

pouvoirs, mais aussi la capacité de survivre à partir d'une diète beaucoup moins calorique que celle de ses semblables. Eh bien ! cessez vos éternels déplacements pour aller voir et revoir les dernières superproductions de Marvel au cinéma et allez au zoo, car les véritables superhéros sont là ! Dans l'aire des pandas, au plus profond de leur dense fourrure, nichée dans leur corps de toutou, vous trouverez une glande, la glande thyroïde, qui rend les dépenses métaboliques du panda géant inférieures à celles de l'ours noir pendant qu'il hiberne ! Tout un exploit, qui s'explique par un simple mot : la paresse.

En effet, la glande thyroïde produit des hormones, nommées  $T_3$  et  $T_4$ , qui augmentent les dépenses métaboliques des mammifères. En diminuant son activité, la glande diminue la concentration de ces hormones dans le corps du panda. Celui-ci se retrouve alors avec des taux d'hormones  $T_3$  et  $T_4$  inférieurs au niveau habituellement présents chez un mammifère de sa taille<sup>3</sup>. Cela lui permet aussi de maintenir des organes de taille bien plus petite que ceux des autres ours. Le panda possède ainsi des reins, un foie et même un cerveau qui font à peu près les trois quarts de la taille considérée normale chez les grands ursidés<sup>3</sup>. Ce rapetissement progressif des principaux organes du panda géant est un miracle évolutif sans pareil chez les mammifères. Cette paresse métabolique est cruciale et permet au panda géant, l'un des ursidés les plus massifs, de survivre à partir d'une diète exclusivement végétarienne. La plus importante adaptation du panda n'a donc pas été d'adopter le bambou

en tant que nourriture, mais plutôt d'adapter son corps et son comportement afin de survivre à ce régime en dépensant seulement le tiers de l'énergie des autres mammifères de sa taille<sup>3</sup>.

Il existe une expression américaine qui s'accorde parfaitement à l'exploit évolutif du panda géant : « Si la vie te donne un citron, fais-toi de la limonade ». Bref, tire le meilleur de ce qui t'est donné, aussi peu que ce soit. Dans le cas des pandas, le citron, c'est le bambou, et la limonade, c'est l'incroyable survie de cette espèce herbivore coincée dans un corps de carnivore. La vie du panda géant est maintenant liée si étroitement au bambou que les deux sont devenus inséparables. Alors que de nombreuses forêts de bambou sont menacées de disparition dans les prochaines décennies à la suite d'un intense défrichage, la survie de cette espèce, qui subsiste déjà contre toute attente, se voit sérieusement compromise. Si nous ne pouvons sauver l'habitat, sauverons-nous l'animal ? Et alors, que faire de cette fâcheuse et inefficace manie herbivore, une fois que le bambou n'est plus ? Deux grands bouleversements en 5000 ans, c'est beaucoup demander à Dame Nature. Si les grandes adaptations que nous avons décrites chez le panda géant proviennent d'un comportement qu'il fut contraint d'adopter, la prochaine grande adaptation sera-t-elle de le libérer de ce comportement ? Et après, reconnaitrons-nous toujours notre toutou préféré, un morceau de viande à la bouche, la fourrure tachée de sang ? Peut-être que, chez le panda, c'est la paresse qu'on préfère.



**FIGURE 2** Un panda grignote calmement un morceau de bambou. Source : Fernando Revilla. Male Giant Panda Tai Shan [Image en ligne]. 2005 [consulté le 7 avril 2019] Disponible : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Panda\\_g%C3%A9ant#/media/File:Giant\\_Panda\\_Tai\\_Shan.JPG](https://fr.wikipedia.org/wiki/Panda_g%C3%A9ant#/media/File:Giant_Panda_Tai_Shan.JPG)

#### RÉFÉRENCES :

1. Rehm J. Pandas didn't always stick to bamboo. Science News [Internet]. Février 2019 [cité le 7 avril 2019]; 195(4): 10-11. Disponible : <http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=0&sid=2a45de19-52ed-4e8a-a968-844f5adbe01b%40pdc-v-sessmgr05&bdata=JnNpdGU9ZWhvc3QtG12ZQ%3d%3d#AN=134709990&db=rch>
2. Mc Spadden K. Panda Poop Suggests They Shouldn't Eat Their Favorite Food. Time [Internet]. 20 mai 2015 [cité le 7 avril 2019]. Disponible sur : <http://time.com/3890318/giant-pandas-china-digestion-extinction-bamboo/>
3. Nie Y, Speakman JR, Wu Q, Zhang C, Hu Y, Xia M, et al. Exceptionally low daily energy expenditure in the bamboo-eating giant panda. Science. 10 juillet 2015 [cité 7 avril 2019]; 349(6244):171-4.

# L'inconstance d'une constante

Par Daniel Comte et Kevin Lessard

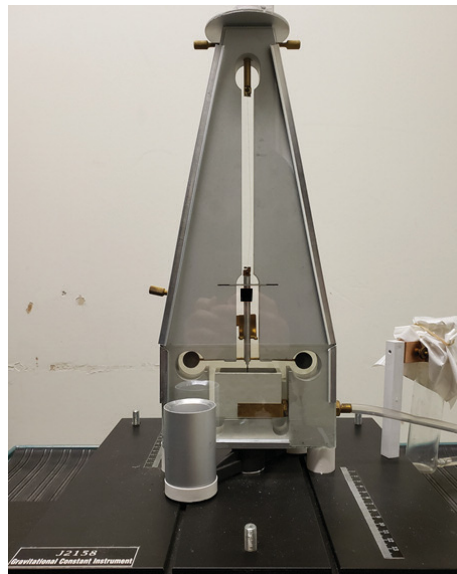
*On pense généralement que les scientifiques sont capables de tout accomplir. Néanmoins, un paramètre fondamental de la physique, la constante gravitationnelle  $G$ , demeure hors de portée : « Big  $G$  is the Mt. Everest of precision measurement science, and it should be climbed ». (J.E. Faller, 2010)*

Avez-vous déjà remarqué de petits points lumineux qui bougent dans le ciel étoilé ? Ce sont des satellites. Et comment se sont-ils retrouvés là ? Grâce à des astrophysiciens et à des ingénieurs. Ceux-ci utilisent des formules mathématiques et des principes physiques afin de déterminer la vitesse exacte que doit maintenir un satellite pour rester en orbite autour de la Terre. Une simple erreur de calcul et le satellite sortira de l'orbite de la Terre, s'écrasera violemment sur sa surface ou se consumera dans son atmosphère. Une constante fondamentale de l'Univers est au cœur des calculs servant à envoyer les satellites en orbite : la constante gravitationnelle  $G$ . Celle-ci régit l'intensité de la force gravitationnelle, c'est-à-dire la force d'attraction entre deux corps qui possèdent une masse<sup>1</sup>. Par exemple, c'est cette force qui retient nos corps à la surface de la Terre. La valeur de cette constante est l'une des plus difficiles à obtenir, car les méthodes expérimentales imaginées à ce jour nous empêchent de complètement isoler le système étudié de son environnement. Nous allons donc en apprendre un peu plus sur son histoire, les défis liés à sa détermination et son rôle dans différents contextes.

## Évolution des valeurs de la constante $G$

En 1798, Henry Cavendish, un physicien et chimiste britannique, mesure pour la première fois la constante gravitationnelle. Celui-ci avait pour but de trouver la masse et la densité de la Terre et, pour cela, il avait besoin d'une des quatre constantes fondamentales de la physique, soit la constante gravitationnelle. Son expérience lui a permis d'obtenir une valeur de  $G$  possédant une précision de deux chiffres significatifs dont un est incertain, soit  $6,7 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ . Ce résultat a été obtenu grâce au montage expérimental que John Michell, un physicien et géologue anglais, avait inventé, mais qu'il n'avait malheureusement pas pu utiliser puisqu'il est décédé peu de temps après<sup>2</sup>.

L'expérience se résume brièvement à faire pivoter horizontalement deux sphères fixées aux extrémités d'une petite tige suspendue à l'aide d'un mince fil métallique fixé en son centre, jusqu'à ce qu'elles atteignent une position d'équilibre, et ce, grâce à la force gravitationnelle exercée entre celles-ci et une deuxième paire de sphères plus massives (voir figure 1). L'amplitude de la torsion du fil métallique permet de remonter jusqu'à la valeur de  $G$ .



**FIGURE 1** La balance de Cavendish utilisée lors de nos expérimentations. Les grosses sphères sont déposées sur les supports cylindriques situés devant et derrière le montage. Source : Kevin Lessard, 8 avril 2019, Salaberry-de-Valleyfield.

Ce montage, appelé « balance gravitationnelle », « balance de Cavendish » ou « pendule à torsion », a été réutilisé pendant plus de deux siècles pour tenter de raffiner la valeur de  $G$ .

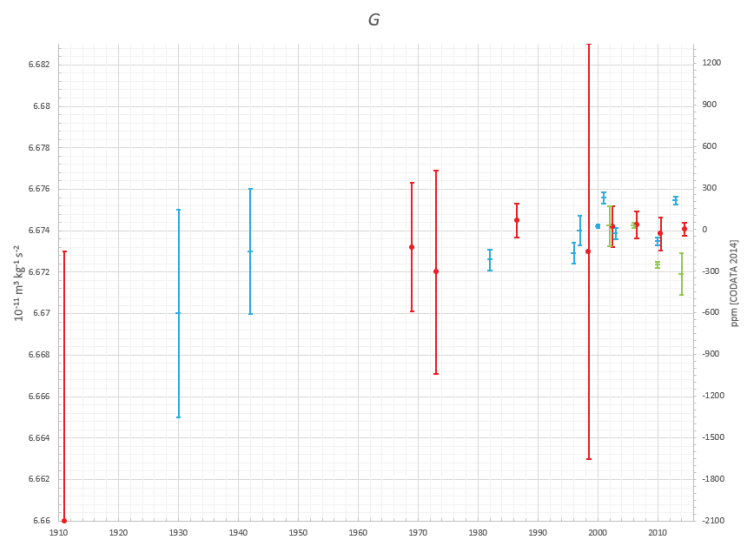
Évidemment, celui-ci a subi des améliorations au fur et à mesure que la technologie a évolué. Au 19<sup>e</sup> siècle, des scientifiques ont obtenu une valeur avec une précision de trois chiffres significatifs dont un est incertain, soit  $6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ . Au cours des dernières années, avec toutes les avancées et la précision des instruments de mesure à notre disposition, nous pouvons obtenir une valeur qui possède seulement 6 chiffres significatifs dont deux sont incertains, soit  $6,674 08 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ .

En 2015, une nouvelle valeur de  $G$  a été obtenue en utilisant une méthode fort différente et très complexe. Elle utilise les infimes variations dans le mouvement d'atomes de rubidium refroidis à près de 0 Kelvin et excités par des impulsions laser. Les atomes de rubidium sautent littéralement de 60 cm ou 90 cm vers le haut selon leur niveau d'énergie final, et à partir des infimes différences dans le mouvement des atomes lors de leur descente due à la gravité, il est possible d'obtenir une valeur pour la constante  $G$ . C'est avec ce dispositif très moderne, appelé « fontaine d'atomes », que Guglielmo M. Tino de l'université de Florence, en Italie, a obtenu une valeur avec 6 chiffres significatifs dont deux sont incertains, soit  $6,671 91 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ .

Notons que la seule façon de trouver la valeur de  $G$  est par l'analyse des effets produits par la force gravitationnelle puisque c'est une constante indépendante de toutes les autres. Cela signifie qu'on ne peut pas se baser sur un autre paramètre connu et plus précis pour la trouver. De plus, on ne comprend pas encore ce que représente exactement cette constante, d'un point de vue physique, ce qui rend les choses d'autant plus difficiles.

Sans cette constante et sa contribution au monde moderne, nous n'aurions pas cette facilité d'accès au GPS, à Internet, aux chaînes télévisées et le téléphone cellulaire n'existerait pas.





**FIGURE 2** Les différentes valeurs de  $G$  et leurs incertitudes au cours du dernier siècle. En rouge : des résultats tirés de publications scientifiques rapportant les résultats de plusieurs expériences. En bleu : des résultats obtenus grâce à une balance gravitationnelle. En vert : des résultats obtenus grâce à d'autres types d'expériences. Source : Dbachmann. Wikimedia Commons [Image en ligne]. 27 juin 2018 [consulté le 4 avril 2019]. Disponible : [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gravitational\\_constant\\_historical.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gravitational_constant_historical.png)

### Notre expérience

Comme on l'a vu dans le paragraphe précédent, le paramètre  $G$  est très difficile à déterminer de façon précise et constante (voir figure 2). En effet, le résultat le plus précis que nous ayons comporte seulement six chiffres significatifs dont deux sont incertains. Pour fin de comparaison, nous connaissions déjà depuis 1978 la valeur d'une autre constante fondamentale, la vitesse de lumière dans le vide, avec une précision de 11 chiffres significatifs dont deux sont incertains (299 792 458,98 m/s). Pour notre part, lorsque nous avons fait l'expérience avec une balance de Cavendish (voir figure 1), nous sommes arrivés à une valeur de  $G$  d'environ  $5,5 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$ , ce qui représente un écart relatif d'environ 17 % par rapport à la valeur reconnue aujourd'hui. Pas fameux, mais ce résultat est tout de même du bon ordre de grandeur malgré sa très petite valeur. Plusieurs raisons peuvent expliquer cet écart. D'abord, il est difficile de déterminer  $G$ , car la force gravitationnelle dont on mesure les effets grâce au montage est tellement faible qu'elle entre en compétition avec d'autres phénomènes ou d'autres forces, ce qui influence les résultats de l'expérience. Par exemple, il y a les vibrations du bâtiment et les forces gravitationnelles exercées par les objets environnants sur le pendule. C'est pourquoi nous avons dû réaliser l'expérience le soir dans un local situé au rez-de-chaussée du cégep. Cela était nécessaire pour réduire les vibrations dans la structure du bâtiment dues aux personnes qui marchent, aux portes qui s'ouvrent et se ferment ou au système de ventilation. D'ailleurs, marcher doucement sur la pointe des pieds était la seule manière de se déplacer lors de la prise des mesures.

### Contribution de la constante gravitationnelle à la société

Malgré son imprécision, la constante  $G$  est très utile dans le monde scientifique et à la société. En effet, celle-ci a servi à trouver la densité de la Terre et ses dimensions. Elle a permis le développement de la géodésie, c'est-à-dire l'étude de la forme de la Terre, qui sert notamment à concevoir les cartes du monde<sup>3</sup>.  $G$  permet également de calculer la masse d'un corps céleste, comme une planète, une étoile ou une galaxie, lorsqu'un second corps orbite autour de lui, et ce, simplement en connaissant le temps nécessaire pour compléter une révolution et sa distance moyenne par rapport au corps central. De plus, cette constante sert à savoir quels gaz peuvent ou ne peuvent pas rester dans l'atmosphère d'une planète, en fonction de la température de celle-ci, de la masse de la planète et de son rayon. Par exemple, l'hélium ne reste pas dans l'atmosphère de la Terre, d'où le fait qu'il y en a de moins en moins sur notre planète. Si vous vous êtes déjà demandé comment les scientifiques faisaient pour envoyer des fusées dans l'espace, c'est grâce à des calculs qui font intervenir la constante  $G$ . Sans cette constante et sa contribution au monde moderne, nous n'aurions pas cette facilité d'accès au GPS, à Internet, aux chaînes télévisées et le téléphone cellulaire n'existerait pas. Elle sert aussi en balistique, c'est-à-dire l'étude de la trajectoire des projectiles, comme des missiles<sup>3</sup>. Il est certain qu'il n'est pas souhaitable d'utiliser notre connaissance de  $G$  pour guider des missiles, mais ceux-ci ne seront pas forcément dirigés contre l'humanité. Par exemple, si un jour nous sommes menacés par un astéroïde se dirigeant directement vers la Terre (voir figure 3),



**FIGURE 3** Astéroïde se dirigeant vers la Terre. Source : State Farm. Meteor falling to Earth [Image en ligne]. 15 février 2013 [Consulté le 6 avril 2019]. Disponible : <https://www.flickr.com/photos/40567541@N08/8476682346>

nous pourrions envoyer des missiles avec précision vers celui-ci. Ainsi, il se fragmentera et se désintégrera plus facilement dans l'atmosphère terrestre, ce qui évitera peut-être qu'il atteigne le sol. C'est dans ces moments que la précision de la méthode scientifique est cruciale et qu'une valeur de plus en plus précise de  $G$  ne peut qu'être utile.

En somme, la détermination de la constante gravitationnelle reste un défi, même pour les scientifiques d'aujourd'hui. En raison de la nature de cette constante et des méthodes de mesure employées, il est très difficile pour les scientifiques d'atteindre un niveau de précision comparable à celle des autres constantes fondamentales. Néanmoins, cela ne nous empêche pas d'avoir fait du progrès depuis la première mesure en 1798. En constatant toutes les avancées technologiques que nous a permises la constante gravitationnelle  $G$ , est-il important que les scientifiques persévèrent dans leur quête visant à déterminer sa valeur de façon toujours plus précise ?

### RÉFÉRENCES :

1. Carter B. GRAVITATION ET ASTROPHYSIQUE. Encyclopedia Universalis [Internet]. 2019 [cité le 7 avril 2019]. Disponible sur: <https://universalis-valleyfield.proxy.collecto.ca/encyclopedie/gravitation-et-astrophysique/>
2. Soter S, de Grasse Tyson N. Cosmic Horizons: Astronomy at the Cutting Edge. New Press; 2001. 253 p.
3. Vignerresse JL. Constante gravitationnelle universelle: quelle inconstance ! [Internet]. The Conversation. 9 octobre 2018 [cité le 7 avril 2019]. Disponible sur: <http://theconversation.com/constante-gravitationnelle-universelle-quelle-inconstance-104119>

# Éradiquer une maladie, c'est possible grâce aux mathématiques!

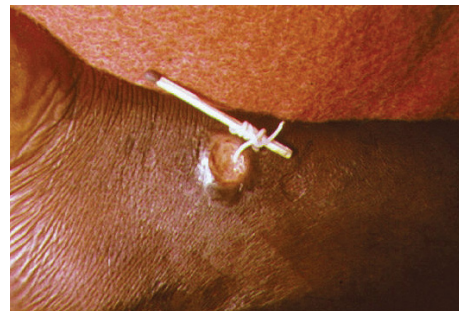
Par Corinne Marois-Gagné, Érika Perron et Catherine Séguin

*Des mathématiciens canadiens ont élaboré un modèle mathématique qui permettrait d'éradiquer une maladie : la dracunculose, aussi appelée « maladie du ver de Guinée ». Celle-ci a déjà fait l'objet de tentatives d'éradication, principalement sur le continent africain, mais elles ne se sont pas avérées concluantes jusqu'à maintenant.*

La dracunculose est une maladie parasitaire non mortelle et dont le parasite, un ver, se transmet par l'ingestion d'eau contaminée. Une fois ingéré, le ver se promène dans le corps humain pendant un an avant d'en ressortir par la peau. Et que dire de sa taille! Le ver a le diamètre d'une nouille spaghetti et peut mesurer jusqu'à 100 cm de long, soit environ la longueur d'une jambe! Par cette seule information, on comprend mieux pourquoi on cherche tant à éradiquer cette maladie, bien qu'elle ne soit pas mortelle. Notez d'ailleurs qu'à son apogée, la maladie du ver de Guinée affectait une vingtaine de pays, et qu'aujourd'hui, elle perdure encore. Elle touche généralement les populations des communautés rurales pauvres et isolées.<sup>1,2</sup>

La dracunculose est donc transmise par l'ingestion d'eau contaminée par des copépodes. Les copépodes sont des petits organismes. Les vers sont ingérés par les copépodes, qui sont par la suite ingérés par l'humain lorsqu'il boit cette eau. L'humain peut être infecté par plus d'un ver de Guinée. Le copépode sera digéré par l'organisme, mais le ver, non. Le ver se promènera alors dans le corps humain à travers les tissus sous-cutanés pour se rendre généralement dans les extrémités du corps, soit les jambes et les bras. Les personnes atteintes de la maladie du ver de Guinée ne présentent aucun symptôme pendant environ un an puisque le ver vit dans le corps pendant cette période. Durant cette même année, l'hôte n'a aucunement conscience qu'il y a des vers à l'intérieur de lui. C'est seulement au moment où le ver voudra sortir que l'hôte ressentira une douleur. Il y aura alors formation d'une cloque à l'endroit exact où le ver veut quitter l'hôte. Cette cloque s'avère très douloureuse et provoque une sensation de brûlure intense, avant de se transformer en ulcère.

Le ver va tranquillement sortir du corps par cet ulcère et ce processus très douloureux peut prendre plusieurs semaines. C'est ce qu'on peut observer sur la figure 1. Quand le ver sera complètement sorti, il laissera un petit trou dans la peau qui se refermera si la plaie n'est pas infectée. L'infection parasitaire du ver de Guinée existe depuis longtemps et affecte des populations depuis l'Égypte antique. En effet, selon certains auteurs de l'époque, on aurait retrouvé des vers dans le corps des momies. En 2018, les seuls pays qui étaient encore contaminés étaient le Tchad et l'Éthiopie avec environ 15 cas rapportés dans chacun.



**FIGURE 1** Vue d'un ver de Guinée sortant d'un pied humain. Source : Centers for Disease Control and Prevention's Public Health Image Library [Image en ligne]. 31 décembre 1967 [consulté le 8 avril 2019]. Disponible sur : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Dracunculose#/media/File:Dracunculus\\_medinensis.jpg](https://fr.wikipedia.org/wiki/Dracunculose#/media/File:Dracunculus_medinensis.jpg)

Au Canada, quatre chercheurs de l'université d'Ottawa ont élaboré un modèle mathématique dans le but de trouver une solution rigoureuse pour éradiquer la dracunculose.<sup>3</sup> Pour ce faire, ils ont créé un système d'équations différentielles qui présente l'évolution de la maladie à travers le temps.

La figure 2 schématise ce système. Les variables du système correspondent au nombre d'individus de chacune des populations impliquées dans la propagation de la maladie. Chez les humains, on compte les individus infectés par le ver de Guinée ( $I$ ), les individus exposés à la maladie ( $E$ ) et les autres individus susceptibles d'être infectés ( $S$ ). Pour représenter la population de vers dans l'eau, le nombre de larves est noté  $W$ , mis pour le terme anglais « worm ». Le taux de variation des différentes populations dépend de plusieurs constantes, comme l'illustre la figure 2.

Maintenant que vous saisissez l'idée générale du système, plongeons dans le vif du sujet : les équations différentielles du système :

$$S' = \pi - \beta SW - \mu S + \kappa I \quad (1)$$

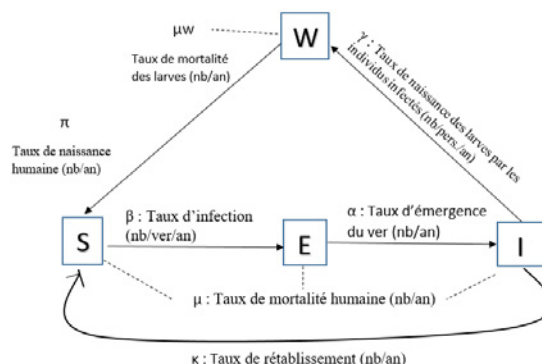
$$E' = \beta SW - \alpha E - \mu E \quad (2)$$

$$I' = \alpha E - \kappa I - \mu I \quad (3)$$

$$W' = \gamma I - \mu_w W \quad (4)$$

Les variables, soit les différentes populations, peuvent augmenter ou diminuer en fonction du temps. La figure 2 aide d'ailleurs à comprendre ce qui fait varier le nombre d'individus des populations.

Commençons par expliquer les constantes qui ne font que diminuer les populations. Sans grande surprise, les individus de toutes les populations peuvent mourir. Ceux des populations humaines ( $S$ ,  $E$  et  $I$ ) décroissent selon le taux de mortalité humaine  $\mu$ , tandis que,



**FIGURE 2** Schéma du modèle. Source : Érika Perron et Catherine Séguin, schéma, 2019, Salaberry-de-Valleyfield.

du côté des vers, ils meurent selon le taux de mortalité des larves  $\mu_w$ . Puisque la maladie du ver de Guinée n'est pas mortelle, notez que seul le taux de mortalité humaine fait mourir les individus des populations humaines. Aussi, de façon générale, toute diminution attribuable au taux de mortalité est proportionnelle au nombre d'individus dans la population, c'est pourquoi les quatre équations du système contiennent respectivement les termes  $-\mu S$ ,  $-\mu E$ ,  $-\mu I$  et  $-\mu W$ .

## Et que dire de sa taille ! Le ver a le diamètre d'une nouille spaghetti et peut mesurer jusqu'à 100 cm de long, soit environ la longueur d'une jambe !

Outre les taux de mortalité, d'autres constantes font varier les populations. Le taux de naissance humaine  $\pi$  augmente la population  $S$ , ce qui se traduit par le terme  $\pi$  dans l'équation 1. Le taux de naissance des larves  $\gamma$ , qui dépend du nombre d'individus infectés ( $I$ ), augmente la population de larves ( $W$ ), ce qui se traduit par le terme  $\gamma I$  dans l'équation 4. D'autres taux affectent simultanément plusieurs populations. Le taux d'infection  $\beta$ , par exemple, fait passer des individus de l'état de « susceptibles » à l'état d'« exposés ». Ainsi, il diminue la population  $S$  au même rythme qu'il augmente la population  $E$ . Cela se traduit respectivement par les termes  $-\beta SW$  et  $+\beta SW$  des équations 1 et 2 puisque  $\beta$  dépend du nombre de larves ( $W$ ) et du nombre d'individus susceptibles ( $S$ ). Le taux de rétablissement  $\kappa$ , quant à lui, fait en sorte que des individus infectés guérissent et redeviennent susceptibles. Il dépend donc du nombre d'individus initialement infectés ( $I$ ). Le taux  $\kappa$  augmente ainsi la population  $S$  en diminuant la population  $I$ , ce qui se traduit par les termes  $+\kappa I$  et  $-\kappa I$  dans les équations 1 et 3. De manière similaire, le taux d'émergence des vers  $\alpha$  a des répercussions sur les populations  $E$  et  $I$  :

il diminue la population  $E$  au même rythme qu'il augmente la population  $I$ . Puisque ce taux dépend du nombre d'individus exposés ( $E$ ), on a donc les termes  $-\alpha E$  et  $\alpha E$  dans les équations 2 et 3.

Le système mathématique présentant l'évolution de la maladie est maintenant démystifié. Nous allons maintenant l'utiliser pour déterminer comment freiner l'évolution de la dracunculose, et ce, jusqu'à ce que les populations se stabilisent pour ne compter ni ver, ni individu infecté, ni individu exposé. C'est ce que l'on appelle l'équilibre sans maladie. Cela se traduit par l'équation suivante :

$$(\bar{S}, \bar{E}, \bar{I}, \bar{W}) = \left( \frac{\pi}{\mu}, 0, 0, 0 \right) \quad (5)$$

où  $\frac{\pi}{\mu}$  représente une surestimation du nombre total d'individus humains. Nous voulons en effet que toutes les personnes soient susceptibles d'être infectées.

Pour arriver à cet équilibre, il est nécessaire de faire diminuer ou augmenter les constantes impliquées dans la propagation de la maladie. Pour ce faire, les créateurs du modèle se sont penchés sur plusieurs interventions réalistes auxquelles pourraient avoir recours les humains pour limiter l'évolution de la maladie. Il s'agit, entre autres, de l'éducation et de la filtration de l'eau. Par l'éducation, on enseignerait aux habitants à ne pas mettre leurs plaies infectées dans l'eau potable, ce qui limiterait la transmission de la maladie et réduirait donc le taux de naissance des larves ( $\gamma$ ). Quant à la filtration de l'eau, elle empêcherait les larves d'être ingérées par l'humain, ce qui diminuerait le taux d'infection ( $\beta$ ).

Pour déterminer l'effet de ces deux interventions, les quatre mathématiciens ont préalablement élaboré une formule qui regroupe toutes les constantes liées à l'évolution de la maladie. Ils l'ont obtenue à partir des équations du système et à partir de celle de l'équilibre sans maladie.

$$R_0 = \frac{\pi\alpha\gamma\beta}{\mu(\alpha+\mu)(\kappa+\mu)\mu_w} \quad (6)$$

Pour évaluer si la maladie est en phase d'expansion ou d'éradication, ils ont démontré le théorème suivant : si  $R_0$  est plus grand que 1, la maladie est en phase d'expansion, alors que s'il est plus petit que 1, la maladie est en phase d'éradication. Rappelez-vous : le but est d'éradiquer la maladie, alors on cherche à diminuer le plus possible le  $R_0$ .

Avec les valeurs des constantes obtenues en considérant des données provenant du Mali, de l'Éthiopie, du Soudan et du Ghana, les chercheurs ont calculé un  $R_0$  de 28,7641666 en l'absence d'intervention. Cette valeur montre qu'alors la maladie est en expansion. Or, quand on diminue le taux de naissance des larves ( $\gamma$ ) par l'éducation, le  $R_{0(\gamma)}$  chute à 0,28764167, ce qui est bien inférieur à 1. De la même façon, lorsqu'on diminue la constante du taux d'infection ( $\beta$ ) en filtrant l'eau des habitants, on obtient également un  $R_{0(\beta)}$  de 0,28764167. On comprend donc que ces deux interventions déclenchent la phase d'éradication la maladie, ce qui favoriserait à long terme son élimination complète.

En somme, le modèle mathématique élaboré par les quatre mathématiciens canadiens présente deux solutions efficaces qui permettraient d'éradiquer la dracunculose, une maladie qui affecte la qualité de vie de nombreuses personnes depuis trop longtemps. Il est temps d'agir grâce aux mathématiques !

Nous espérons, en terminant, que des modèles mathématiques tels que celui analysé dans cet article vont continuer à favoriser l'effort d'éradication des maladies à l'échelle mondiale.

### RÉFÉRENCES :

1. Cairncross S, Muller R, Zagaria N. Dracunculiasis (Guinea Worm Disease) and the Eradication Initiative. Clin Microbiol Rev [Internet]. Avril 2002 [cité le 4 février 2019]; 15(2):223-46. Disponible sur : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC118073/>
2. Cielo production. Foul Water Fiery Serpent Full Length Documentary.[Vidéo en ligne]. 2010 [cité le 22 février 2019]. 56 min. 50 s. Disponible sur : <https://www.youtube.com/watch?v=THWLBnVCQm0>
3. Smith RJ, Cloutier P, Harrison J, Desforges A. A mathematical model for the eradication of Guinea Worm Disease. 2012 [cité le 4 février 2019]. Disponible sur : <https://mysite.science.uottawa.ca/rsmith43/GuineaWorm.pdf>

# Entre plaisir et dépendance : une ligne aussi mince qu'un neurone !

Par Léna Giroux, Marc-Alain Raymond et Mick Vaillancourt

*Nous savons tous que le jeu pathologique est un grave problème sociétal, mais comprenons-nous réellement cette dépendance? Vous découvrirez enfin ce qui fait d'un individu un joueur pathologique à partir d'une vue d'ensemble de votre propre cerveau!*

Vous êtes-vous déjà demandé comment une activité d'argent et de hasard aussi banale que le jeu peut créer une dépendance qui détruit des vies et qui brise des rêves? Eh bien! vous allez trouver réponse à votre interrogation. Pour se permettre de ressentir du plaisir, l'être humain s'est doté, au cours de l'évolution, d'un mécanisme neurologique qui se nomme le « circuit de la récompense ». Celui-ci sert, entre autres, à associer un plaisir à la reproduction sexuée et à d'autres besoins de survie afin de nous encourager à les satisfaire. Pour ce faire, il sécrète principalement de la dopamine, un neurotransmetteur ayant un rôle de messenger chimique responsable du plaisir dans ce circuit de récompense. La dopamine pénètre dans les neurones de différentes parties du cerveau afin de nous faire ressentir tous les plaisirs de la vie. Toutefois, certaines situations peuvent mener à des déséquilibres dans la production et dans l'absorption de la dopamine, ce qui entraîne de l'abus puis, ultimement, la dépendance. Dès lors, nous ne savons plus nous arrêter et tout peut arriver si nous n'obtenons pas l'aide nécessaire. Allons voir de plus près le fonctionnement du plaisir induit par le circuit de la récompense et la dopamine. Vous comprendrez enfin quels dérèglements nous mènent éventuellement à la maladie mentale qu'est le jeu pathologique.

La plupart d'entre nous décrivent le plaisir comme une émotion, n'est-ce pas? En réalité, c'est bien plus que cela. Le plaisir est, certes, une émotion, mais c'est aussi un motif d'action et d'impulsivité, une source de concentration et un souvenir. Chacune de ces propriétés du plaisir est rattachée à une composante du circuit de la récompense mentionné précédemment. La dopamine, qui est à l'origine du plaisir, est sécrétée principalement dans une partie du cerveau nommée « aire ventrale tegmentale ».<sup>1</sup>

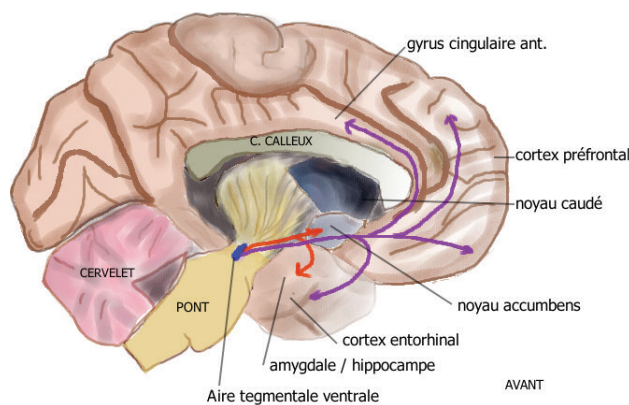
Cette aire, située au centre du cerveau, reçoit l'information sensorielle générée par la substance ou l'activité consommée, que ce soit la prise de drogue, une activité sexuelle ou le jeu d'argent dans notre cas. Elle sécrète de la dopamine en diverses quantités selon le type et l'intensité de la stimulation. À ce moment, notre corps ne ressent encore aucun plaisir. Cet endroit est comme le centre de contrôle de la dopamine : c'est là où les informations importantes relatives au plaisir sont reçues, puis redistribuées par l'intermédiaire de la dopamine aux autres parties du circuit. La dopamine sécrétée est envoyée principalement à quatre parties du cerveau sans ordre particulier.

**Plus l'activité est excessive et plus le plaisir est intense, moins on est satisfait, ce qui mène à la dépendance et à la tolérance.**

La première partie est l'amygdale : elle sert notamment à nous faire ressentir des émotions, soit le plaisir d'avoir misé de l'argent et gagné.<sup>2</sup>

La dopamine est aussi envoyée au noyau accumbens; celui-ci contrôle nos fonctions motrices corporelles et nous incitera, par exemple, à miser de l'argent à nouveau dans l'optique de ressentir encore plus de plaisir. La dopamine se rend aussi au cortex préfrontal et nous permet de nous concentrer, de capter notre attention et de planifier la suite. C'est grâce au cortex préfrontal que nous allons garder notre attention sur le jeu en cours, nous concentrer sur les étapes subséquentes et planifier notre prochaine mise pour gagner le plus d'argent et maximiser notre plaisir.<sup>3</sup> Enfin, la dopamine est envoyée à l'hippocampe : celui-ci sert à forger nos souvenirs et à imprégner dans notre mémoire le plaisir ressenti lors du jeu. C'est l'hippocampe qui motive un individu ayant des problèmes de jeu à retourner jouer de l'argent, et ce, même des années après avoir vécu le plaisir initial. Comme l'hippocampe est connecté à l'amygdale, c'est dans cette aire du cerveau que les émotions sont associées à certains souvenirs. Par conséquent, cette aire est la plus grande responsable de la dépendance psychologique, car elle nous rappelle constamment les plaisirs que nous avons vécus dans le passé. Ensemble, ces quatre parties du cerveau nous donnent les sensations de plaisir, de récompense et d'euphorie telles qu'on les connaît.

L'hippocampe est particulièrement intéressant à étudier, car il crée rapidement des conditionnements en lien avec le plaisir du jeu.



**FIGURE 1** Représentation des principales parties du cerveau impliquées dans le circuit de la récompense. Source : Neurosciences/Le plaisir et la motivation. Wikilivres [Image en ligne]. 7 mai 2011 [consulté le 7 avril 2019]. Disponible : [https://fr.wikibooks.org/wiki/Neurosciences/Le\\_plaisir\\_et\\_la\\_motivation#/media/File:Mesolimbic\\_mesocortical\\_pathway.png](https://fr.wikibooks.org/wiki/Neurosciences/Le_plaisir_et_la_motivation#/media/File:Mesolimbic_mesocortical_pathway.png)



**FIGURE 2** Représentation des lumières vives des machines à sous auxquelles un joueur pathologique pense lorsqu'il voit des lumières clignotantes et qu'il ressent un manque. Source : Casino Jeu de Hasard; 2014; Pixabay [Image en ligne]. 9 avril 2014 [consulté le 7 avril 2019]. Disponible : <https://pixabay.com/fr/photos/casino-jeu-de-hasard-machines-%C3%A0-sous-3260387/>

Donc, il peut susciter une envie de jouer et sécréter de la dopamine simplement lorsqu'est perçue une lumière clignotante rappelant une machine à sous. Ainsi, chaque souvenir relié au jeu, aussi banal soit-il, peut donner des envies à une personne jouant compulsivement et la pousser vers le jeu lorsqu'elle essaie d'arrêter. C'est ce qu'on appelle « l'anticipation de la récompense ». Évidemment, la récompense n'est souvent pas obtenue, donc le taux de dopamine baisse rapidement et l'individu vit un manque et se sent mal. Cette anticipation influence de façon similaire une personne ayant pris l'habitude de fumer une cigarette après son café matinal. Même si cette personne a arrêté de fumer depuis des années, chaque fois qu'elle va boire ou sentir du café, son cerveau associera ce stimulus à la cigarette qu'elle prenait auparavant et sécrètera de la dopamine en anticipant une récompense, la nicotine dans ce cas-ci. Si l'individu ne fume pas, le taux de dopamine diminue et la personne finit par vivre un manque de nicotine, ce qui lui donne une forte envie de fumer. Le même mécanisme est en cause lorsqu'un individu a de fortes envies de jouer.

Par ailleurs, plus il y a de dopamine sécrétée et absorbée dans le circuit de la récompense, moins de sérotonine, un autre neurotransmetteur, est libérée. Or, celle-ci sert surtout à donner un sentiment de satiété et de satisfaction.<sup>3</sup> Donc, plus l'activité est excessive et plus le plaisir est intense, moins on est satisfait, ce qui mène à la dépendance et à la tolérance. Ultimement, on recherche un plaisir tellement atténué qu'on ne ressent simplement plus de plaisir dans l'activité. Cela est un indice probant qu'on a atteint le stade de joueur pathologique.

Il est possible d'éviter de devenir dépendant au jeu en limitant simplement l'afflux de dopamine rejetée dans le cerveau. Comment peut-on accomplir cela? C'est plus facile qu'on le pense. Il suffit de se fixer des limites. C'est comme avec n'importe quelle drogue : se limiter dans la consommation permet de garder une certaine régularité du plaisir et de ralentir le gain de tolérance par rapport à celui-ci. Arriver au casino avec un montant fixe et raisonnable par rapport à ses moyens, jouer dans l'optique de perdre et non de gagner et ne pas jouer tout son argent d'un seul coup ne sont qu'une poignée de méthodes possibles pour éviter de sombrer dans la dépendance.

De plus, quelques études comportementales ont conclu que certaines personnes présentent des risques plus élevés de développer une dépendance au jeu. En effet, le circuit de la récompense peut être déficient chez les personnes ayant des risques élevés de dépression, entre autres pour des raisons génétiques. Certains troubles de l'humeur, comme la dépression et la bipolarité, peuvent amener un individu à avoir une irrégularité émotionnelle, c'est-à-dire une incapacité à réguler ses émotions. Cela contribue à rendre la personne plus vulnérable face à la dépendance. Ce dysfonctionnement émotionnel peut porter atteinte au circuit de la récompense de l'individu « malade ». En effet, certaines activités peuvent avoir un plus grand impact sur la perception de la récompense, alors que d'autres peuvent avoir un impact beaucoup plus faible. C'est par ce processus qu'une personne ayant, notamment, des troubles psychologiques, développe plus facilement une dépendance au jeu : elle réussit à trouver une certaine joie qu'elle ne peut pas obtenir à l'aide d'activités régulières.



**FIGURE 3** Lorsque quelqu'un ne joue plus pour le plaisir, la dépendance est souvent déjà atteinte et la rationalité de l'activité est perdue. D'autres signes clairs peuvent être l'endettement, le mensonge, le déni et l'ébranlement du cercle social de l'individu. Source : Adrian Sampson. Gambling man. Flickr [Image en ligne] 15 mai 2005 [consulté le 7 avril 2019]. Disponible : [https://www.flickr.com/photos/adrian\\_s/17623439](https://www.flickr.com/photos/adrian_s/17623439)

En somme, c'est par un plaisir combiné à un manque de satisfaction que nous devenons joueurs pathologiques et que nous perdons la rationalité derrière cette activité. Ainsi, il est faux de croire qu'une personne est entièrement responsable de sa dépendance pathologique au jeu, car cette maladie mentale prend son origine dans un déséquilibre neurobiologique issu du circuit de la récompense. En plus, ce débalancement peut être favorisé par l'abus, l'environnement, la génétique et le contexte. Or, il est aussi faux de croire qu'un individu dépendant n'a aucune responsabilité dans ce problème, car l'abus initial et le maintien des mauvaises habitudes de jeu auraient pu être contrôlés au début, prévenant les conséquences malheureuses que nous pouvons imaginer. Ainsi, maintenant que nous savons clairement d'où vient cette pathologie, il ne reste qu'à nous demander s'il est acceptable, en tant que société, d'utiliser cette dépendance à des fins lucratives via les casinos et la loterie malgré ses effets dévastateurs sur une partie de la population.

#### RÉFÉRENCES :

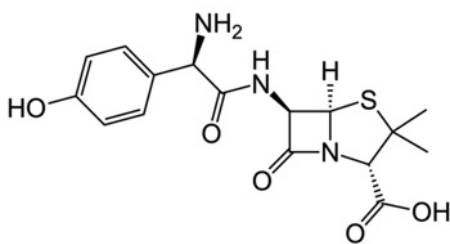
1. Roy V. Le circuit de la dépendance [Internet]. 2014 [cité le 11 avril 2019]. Disponible sur: [http://psychobiologie-rouen.free.fr/?page\\_id=40](http://psychobiologie-rouen.free.fr/?page_id=40)
2. Yue C. Reward pathway in the brain [Vidéo en ligne]. American Medical Colleges and Khan Academy 2019 [consulté le 12 avril 2019]. 8 min 25 sec. Disponible sur: <https://fr.khanacademy.org/science/health-and-medicine/mental-health/drug-abuse-and-drug-addictions/v/reward-pathway-in-the-brain>
3. Roques BP, Vera Ocampo E. ADDICTION. Encyclopædia Universalis [Internet] 2019; [cité le 9 mars 2019]. Disponible sur: <https://universalis-valleyfield.proxy.collecto.ca/encyclopedie/addiction/>

# Génération « pilules » : la résistance se prépare

Par Nicolas Phaneuf-Garand et Sara Youcef

*Les antibiotiques : des substances ayant la propriété de soigner plusieurs infections bactériennes potentiellement mortelles. Et pourtant, les bactéries deviennent de plus en plus résistantes face à ces composés. Comment est-ce possible et comment cela peut-il nous concerner dans le futur ?*

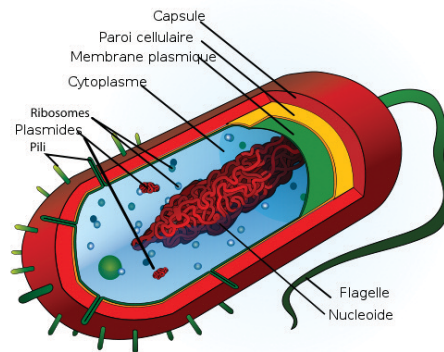
Avez-vous déjà reçu une prescription d'antibiotiques pour traiter une maladie infectieuse ? Si c'est le cas, vous n'êtes pas le (la) seul(e) ! En effet, la découverte et la mise en marché d'antibiotiques majeurs, c'est-à-dire d'antibiotiques maintenant un haut taux d'efficacité et de consommation, entre les années 1940 et 1950, ont contribué à révolutionner la médecine moderne en étant parmi les plus grandes avancées médicales et scientifiques du dernier siècle. Aujourd'hui, la prescription d'antibiotiques est l'un des actes médicaux les plus pratiqués. Cela permet non seulement de soigner de nombreuses maladies infectieuses, mais aussi de limiter la propagation de bactéries autrefois mortelles lors de pratiques médicales plus complexes telles que les chirurgies. Nous verrons dans cet article comment cela pourrait bientôt changer.



**FIGURE 1** La structure chimique de l'amoxicilline, l'un des antibiotiques les plus prescrits dans le monde. Source : Fvasconcellos. Skeletal formula of amoxicillin [Image en ligne]. 6 août 2010 [consulté le 3 avril 2019]. Disponible : <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Amoxicillin.svg>

D'abord, il est essentiel de connaître ce qu'est une bactérie pour bien assimiler le concept de la résistance aux antibiotiques. Une bactérie est un organisme vivant microscopique procaryote, c'est-à-dire sans noyau cellulaire, et généralement unicellulaire. Comme des milliers d'espèces de bactéries sont connues

et que celles-ci se séparent en plusieurs familles, il est difficile de décrire le métabolisme et la structure de chacune d'entre elles. Toutefois, pour mieux comprendre ce qu'est une bactérie, on discutera plutôt de sa structure générale. Comme cet organisme est procaryote, il n'a donc aucune membrane nucléaire séparant son ADN (matériel génétique de deux types : chromosomique et extrachromosomique, aussi connu sous le nom de « plasmide ») du cytoplasme de la cellule, soit le liquide dans lequel baignent toutes les structures cellulaires. Cela permet, entre autres, de transférer directement et rapidement le matériel génétique aux ribosomes, responsables de la synthèse des protéines. La reproduction des bactéries, quant à elle, s'effectue simplement par scissiparité qui est amorcée par la réplication et la séparation du matériel génétique, suivie par la séparation de la cellule bactérienne. Au final, on obtient deux cellules filles (bactéries) possédant chacune une copie identique du matériel génétique.<sup>1</sup>



**FIGURE 2** La structure générale d'une bactérie. Source : Mariana Ruiz Villarreal. Prokaryote cell [Image en ligne]. 2 mars 2008 [consulté le 3 avril 2019]. Disponible : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Average\\_prokaryote\\_cell\\_fr.svg](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Average_prokaryote_cell_fr.svg)

Pour comprendre le phénomène de la résistance bactérienne, il faut aussi savoir ce qu'est un antibiotique ainsi que son fonctionnement. Un antibiotique est une substance qui, à l'origine, était strictement produite par un microorganisme afin d'arrêter la croissance d'un autre microorganisme, ou même de le détruire complètement.

Aujourd'hui, ces composés sont principalement synthétisés en laboratoire, tout en maintenant leur propriété d'inhibition de la croissance et de destruction de certains microorganismes, tels que les bactéries. Les antibiotiques agissent principalement de deux façons. En premier lieu, on observe les antibiotiques qui agissent sur la paroi cellulaire des bactéries. Dans ce premier mode d'action, les substances vont soit inhiber le développement des parois cellulaires, soit empêcher le transport d'ions entre l'extérieur de la cellule et l'intérieur de la cellule, ce qui peut, dans les deux cas, mener à la mort de la cellule bactérienne. En deuxième lieu, on retrouve les antibiotiques qui agissent sur le métabolisme cellulaire des bactéries. C'est le cas des substances qui vont empêcher la réplication de l'ADN ou la transcription de l'ADN en ARN, qui vont empêcher ou ralentir la synthèse de protéines ainsi que celles qui vont interférer dans l'une des étapes du cycle respiratoire de la bactérie. Ces perturbations mèneront à la mort de la bactérie ou, du moins, à l'arrêt de sa reproduction et de sa croissance. Ces propriétés caractéristiques des antibiotiques leur permettent donc d'attaquer les bactéries à l'origine d'une maladie infectieuse, ce qui permet la guérison et le rétablissement du malade, d'où l'importance et l'utilité de ces substances.

Mais qu'est-ce que la résistance aux antibiotiques, concrètement ? La résistance bactérienne aux antibiotiques, aussi nommée « antibiorésistance » ou « résistance microbienne », est la capacité d'une souche bactérienne de pouvoir supporter un taux d'antibiotique supérieur à la concentration donnée au malade. Pour simplifier, on évalue la résistance d'une bactérie en effectuant un test de concentration minimale inhibitrice (C.M.I.), soit le taux d'antibiotique le plus faible permettant d'arrêter complètement la croissance et la reproduction de la bactérie. Une souche est dite sensible si sa C.M.I. est plus faible que la concentration de l'antibiotique dans le sang et les tissus d'une personne ayant reçu une dose habituelle d'antibiotiques.

Au contraire, si la concentration d'une dose habituelle n'est pas assez grande pour inhiber la croissance ou tuer la bactérie en question, on considèrera plutôt cette souche bactérienne comme étant résistante à l'antibiotique en question, ou à plusieurs antibiotiques selon les tests effectués. On pourrait donc dire que l'antibiorésistance est la capacité d'une bactérie à survivre dans un milieu où un antibiotique est présent. Toutefois, ce qui explique qu'une souche bactérienne est résistante par rapport à une souche bactérienne sensible est tout simplement une différence dans le matériel génétique de chaque souche. Les bactéries résistantes possèdent donc des gènes codant la synthèse de protéines permettant à leur métabolisme et à leur paroi cellulaire de supporter et d'empêcher les dommages habituellement causés par l'antibiotique.



**FIGURE 3** À gauche : une souche bactérienne sensible à sept antibiotiques. À droite : une souche bactérienne résistante à plusieurs antibiotiques. Source : Dr Graham Beards. Antibiotic sensitivity and resistance [Image en ligne]. 30 mai 2011 [consulté le 3 avril 2019]. Disponible : [https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Antibiotic\\_sensitivity\\_and\\_resistance.JPG](https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Antibiotic_sensitivity_and_resistance.JPG)

Deux mécanismes permettent aux bactéries d'acquérir rapidement un gène leur conférant une résistance aux antibiotiques.

Le mécanisme de la résistance chromosomique, qui a été le seul mécanisme connu pendant longtemps, explique l'antibiorésistance par les mutations aléatoires se produisant une fois sur un milliard lors de la réplication de l'ADN et qui apporte un nouveau gène codant pour une protéine résultant en une antibiorésistance. Comme certaines bactéries se reproduisent très rapidement (une division à chaque 20 minutes dans le cas d'*Escherichia coli*), de telles mutations se produisent régulièrement, ce qui peut faire en sorte qu'après un traitement aux antibiotiques, seules les bactéries de la souche ayant développé une résistance auront survécu et auront la possibilité de se reproduire et ainsi de se répandre.

Le mécanisme de la résistance extrachromosomique, lui, a été découvert récemment et explique les échanges de matériel génétique entre les bactéries.

## On suspecte même fortement que l'utilisation d'antibiotiques dans le milieu agroalimentaire soit le facteur le plus important dans l'augmentation exponentielle de l'antibiorésistance.

En effet, certaines bactéries ont la capacité d'« infecter » d'autres bactéries avec leur matériel génétique par ce qu'on appelle la « transduction » et la « conjugaison ». Cela fait en sorte que les bactéries ayant un gène codant pour une résistance à un antibiotique peuvent transférer ce gène à d'autres bactéries sensibles de façon à les rendre elles aussi résistantes. On suspecte ce mécanisme d'être le plus important dans la propagation des résistances aux antibiotiques chez les bactéries.<sup>2</sup>

Ensuite, plusieurs facteurs humains contribuent au développement exponentiel de l'antibiorésistance. En effet, la surprescription d'antibiotiques, la fin prématurée d'un traitement antibiotique ou même la prescription de doses trop faibles entraînent souvent la survie de bactéries antibiorésistantes et qui peuvent par la suite prospérer et se reproduire dans un milieu sans compétition. Un autre facteur important est l'utilisation d'antibiotiques dans le milieu agroalimentaire afin d'obtenir des animaux en santé et résistant aux maladies leur permettant ainsi de croître plus rapidement et donc d'être plus rentables. Toutefois, l'abus d'antibiotiques dans ce milieu crée plusieurs résistances chez les bactéries animales et ces antibiorésistances peuvent par la suite être transférées aux bactéries responsables des maladies infectieuses chez les humains. On suspecte même fortement que l'utilisation d'antibiotiques dans le milieu agroalimentaire soit le facteur le plus important dans l'augmentation exponentielle de l'antibiorésistance.

La résistance aux antibiotiques implique de nombreux dangers pour les êtres humains. En effet, les Centres pour le contrôle et la prévention des maladies (CDC) des États-Unis affirment qu'environ 23 000 citoyens des États-Unis meurent chaque année d'une maladie infectieuse provenant d'une souche bactérienne résistante aux antibiotiques et qui n'a donc pas pu être traitée. Les CDC estiment aussi que d'ici 2050, le nombre de morts par année dans le monde dues à une infection bactérienne résistante aux antibiotiques serait d'environ 10 millions et que le nombre cumulé

(soit depuis le début du développement des résistances chez les bactéries) de morts prématurées causées par ces infections s'élèverait à 300 millions à travers le monde. Les dommages causés à l'économie globale pourraient même atteindre une valeur cumulée de 100 billions de dollars d'ici 2050. De plus, de simples lésions mineures ou des infections aujourd'hui courantes pourraient potentiellement entraîner de nombreux décès prématurés si les bactéries deviennent de plus en plus résistantes.<sup>3</sup>

En somme, l'antibiorésistance est un phénomène en croissance qui a de lourdes conséquences sur notre société. Ce phénomène à la base de l'évolution de la bactérie est fortement amplifié par de nombreux facteurs humains, comme l'utilisation des antibiotiques dans le milieu agroalimentaire. Pour le moment, il n'y a pas d'autres options que de diminuer le nombre de prescriptions d'antibiotiques pour favoriser le développement de bactéries sensibles, de sensibiliser les gens à suivre correctement la posologie indiquée lors de la prise d'un antibiotique puis d'encourager la recherche et le développement de nouveaux antibiotiques. Ces solutions à court terme ne font toutefois que retarder le problème inévitable qu'est la résistance bactérienne aux antibiotiques. Espérons que les recherches scientifiques futures permettront de trouver une solution à long terme pour remédier à ce fléau !

### RÉFÉRENCES :

1. Alonso J-M, Forterre P, Bejot J. BACTÉRIES. Encyclopædia Universalis [Internet]. 2019 [cité le 11 avril 2019]. Disponible sur: <https://universalis-valleyfield.proxy.collecto.ca/encyclopedie/bacteries/>
2. Munita JM, Arias CA. Mechanisms of Antibiotic Resistance. Microbiology Spectrum [Internet]. 2016 [cité le 11 avril 2019]; 4(2). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4888801/>
3. Berger T. Doit-on s'inquiéter de l'usage d'additifs antibiotiques en élevage ? Évolution des questionnements liés à l'antibiorésistance animale. Vertigo Rev Électronique En Sci L'environnement [Internet]. 2016 [cité le 11 avril 2019];16(3). Disponible sur: <http://www.erudit.org/fr/revues/vertigo/2016-v16-n3-vertigo03075/1039996ar/>

# La découverte d'une nouvelle perturbation

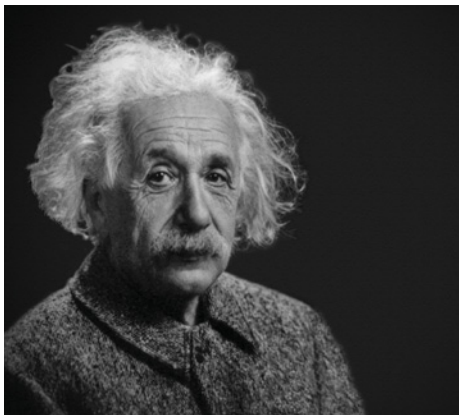
Par David Brazeau, William Leduc et Colin Poirier

*Une fois de plus, Albert Einstein avait raison ! La détection des ondes gravitationnelles confirme une des prédictions du scientifique au sujet de la relativité générale. Cette découverte ouvre une nouvelle fenêtre d'observation de l'Univers.*

## Contexte historique

Il y a environ 1,3 milliard d'années, dans les confins de l'Univers, deux trous noirs ont fusionné, libérant environ cinquante fois la quantité totale d'énergie produite par les étoiles dans tout l'univers observable. Des ondes gravitationnelles produites par cette fusion se sont ensuite propagées jusqu'à ce que, tout récemment, des scientifiques les découvrent au moment où elles traversaient la Terre.

L'instinct étonnant des théoriciens a souvent mené à de grandes découvertes. En 1915, Albert Einstein avait prédit l'existence d'ondes gravitationnelles : il avait déduit que celles-ci seraient produites par des masses accélérées et qu'elles se propageraient dans l'espace-temps à la vitesse de la lumière dans le vide. Einstein ne réussit cependant pas à prouver son hypothèse. Dans les années 1960, Joseph Weber tenta de les détecter pour la première fois, mais ce n'est qu'en 2015, soit un siècle après la théorie d'Einstein, que leur existence a été confirmée par l'observation.



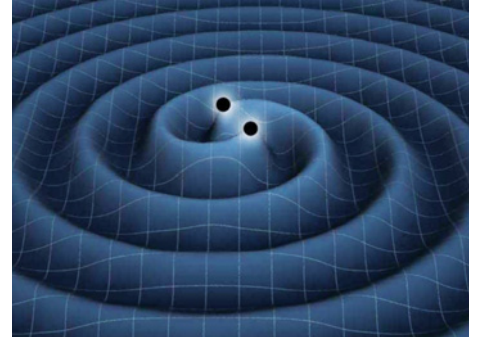
**FIGURE 1** Albert Einstein, physicien théoricien, premier à avoir prédit l'existence des ondes gravitationnelles. Source : Pixabay [Image en ligne]. 29 décembre 2016 [consulté le 5 avril 2019]. Disponible : <https://pixabay.com/fr/photos/albert-einstein-portrait-1933340/>

## Quelques bases théoriques

Pour comprendre ce que sont les ondes gravitationnelles, il faut s'initier à la théorie de la relativité générale. Grâce à ses équations, celle-ci permet de décrire la déformation que subit l'espace-temps due à des objets qui ont une masse. De manière analogue, lorsque nous plaçons une boule de quilles sur un trampoline, celle-ci forme un creux sur la toile. Si nous lançons une bille en direction de cette région, il est possible, pour un bref instant, de la mettre en orbite autour de la boule. Vous aurez compris que la boule de quilles peut représenter le Soleil, et la bille, la Terre. Mais ce qui nous intéresse ici, c'est davantage la toile du trampoline. La courbure qu'elle adopte sous l'effet du poids de la boule représente la déformation de l'espace-temps. Le docteur Rainer Weiss donne un exemple assez concret d'un des effets de cette déformation qui affecte à la fois les distances et l'écoulement du temps : deux horloges synchronisées lancées simultanément dans l'espace mais empruntant des trajectoires différentes ne reviendront pas sur Terre en affichant la même heure, puisqu'elles n'auront pas été affectées par les mêmes déformations de l'espace-temps.<sup>1</sup>

En ce qui a trait aux ondes gravitationnelles, elles correspondent à de l'énergie qui se propage dans le tissu de l'espace-temps sous la forme d'une succession de zones de contraction et de dilatation. Cela ressemble, en quelque sorte, aux vagues créées lorsqu'une roche frappe la surface d'un plan d'eau.

Quelle est la source des premières ondes gravitationnelles observées en 2015 ? La réponse : la fusion de deux trous noirs de masse trente fois supérieure à celle du Soleil et situés à 1,3 milliard d'années-lumière de nous. Juste avant cette fusion, ces astres ont atteint une vitesse équivalente à la moitié de la vitesse de la lumière. Pour vous donner une échelle de référence, les trous noirs tournaient alors l'un autour de l'autre à environ 540 000 000 km/h. En comparaison, la Terre tourne autour du Soleil à une vitesse moyenne d'environ 110 000 km/h. Les trous noirs tournaient donc près de 5000 fois plus vite que la Terre autour du Soleil.



**FIGURE 2** Ce à quoi ressembleraient deux trous noirs qui se rencontrent. Source : National Aeronautics and Space Administration (NASA) [Image en ligne]. 10 octobre 2017 [consulté le 5 avril 2019]. Disponible : <https://asd.gsfc.nasa.gov/blueshift/index.php/2015/11/16/doing-astronomy-with-our-eyes-closed/>

## Les détecteurs d'ondes gravitationnelles

Initialement, Joseph Weber est le physicien qui développa le premier détecteur d'ondes gravitationnelles. Il consistait en un grand cylindre d'aluminium d'un mètre de diamètre et de deux mètres de longueur. Au passage d'une onde gravitationnelle provenant du centre de notre galaxie, sa longueur devait se mettre à osciller très légèrement. Cette première tentative de détection directe n'a toutefois pas fonctionné.

Ce n'est que quelques décennies plus tard que nous y sommes arrivés grâce aux deux détecteurs LIGO (acronyme de Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) situés aux États-Unis, dans les états de la Louisiane et de Washington. Ces sites sont en fait de gigantesques interféromètres de Michelson. Ils permettent de faire interférer deux puissants faisceaux laser et de déduire, à partir de la figure d'interférence, la présence d'ondes gravitationnelles. Plus précisément, les scientifiques utilisent un laser d'une puissance d'un mégawatt, suffisante pour alimenter mille maisons en électricité. Il génère un faisceau de lumière ayant une longueur d'onde très précise qu'on dirige sur une lame semi-réfléchissante pour le diviser en deux. Puisque les deux rayons proviennent de la même source, ils sont initialement identiques. Chacun de ces rayons va ensuite traverser un tuyau linéaire de quatre kilomètres avant d'être réfléchi par un miroir de 90 livres et de revenir en sens inverse.





**FIGURE 3** Le détecteur LIGO dans la ville de Livingston en Louisiane aux États-Unis.

Source : Caltech/MIT/LIGO Laboratory. LIGO Livingston [Image en ligne]. 19 mai 2015 [consulté le 5 avril 2019]. Disponible : <https://www.ligo.caltech.edu/LA/image/ligo20150731c>

Le tout devient intéressant lorsque les rayons se recombinaient et interfèrent après leur long parcours : ils vont alors s'additionner ou se soustraire. C'est finalement grâce aux caractéristiques de la figure d'interférence que nous percevons l'onde gravitationnelle. En effet, cette déformation de l'espace-temps allonge ou comprime différemment les deux tuyaux et fait en sorte que les faisceaux lumineux ne parcourent plus la même distance et ne sont plus en phase au point de rencontre.

L'amplitude des ondes gravitationnelles produite par des phénomènes dégageant de grandes quantités d'énergie, comme la fusion de trous noirs ou l'explosion d'une supernova, est minuscule, soit de l'ordre de  $10^{-21}$  m. Pour avoir une meilleure idée de la taille des déformations détectées, imaginez un mètre et divisez-le par un million. On obtient alors une distance de  $10^{-6}$  m, ce qui équivaut à environ le tiers de l'épaisseur d'un cheveu. Divisez encore cette distance par un million. Le résultat est alors  $10^{-12}$  m, ce qui est plus petit que le diamètre d'un atome. Il faut ensuite diviser cette mesure une dernière fois par mille-millions pour obtenir l'amplitude de la déformation que nous avons captée !

La technique utilisée pour détecter les ondes gravitationnelles se doit donc d'être ingénieuse et d'une précision inégalée, ce qui la rend très sensible à toutes les perturbations environnantes. En effet, les vibrations du sol, le son et les particules d'air sont susceptibles de perturber les mesures. Le défi était alors de trouver le moyen d'isoler le système de son environnement afin que seule la déformation des tuyaux affecte la propagation des rayons lumineux. Pour ce faire, il a fallu extraire tout l'air des tuyaux (opération qui prend 40 jours), fabriquer les miroirs les plus lisses du monde et suspendre ceux-ci à de minuscules fils ayant un diamètre égal à l'épaisseur de deux cheveux.<sup>2</sup>

Pour s'assurer de la validité de la détection des ondes gravitationnelles, il faut que plus d'un laboratoire obtienne les mêmes résultats mais à des instants très légèrement différents en raison de leur position géographique différente. C'est pour cette raison que deux laboratoires ont été construits aux États-Unis. Aujourd'hui, l'expérience VIRGO, en Italie, permet aussi la détection directe d'ondes gravitationnelles.

Notons finalement l'incroyable chance qu'a eue l'équipe de LIGO d'effectuer la première détection directe d'ondes gravitationnelles. On a pu observer un phénomène qui s'est produit il y a 1,3 milliard d'années au moment où ses effets ont atteint la Terre grâce à d'importantes améliorations des détecteurs, complétées seulement quelques jours avant la détection. L'expression « juste à temps » prend alors tout son sens.

### Ce que cela apporte à la science et à la connaissance de l'Univers

Le 14 septembre 2015 sera certainement une date importante dans l'histoire de l'astrophysique. La détection directe d'ondes gravitationnelles représente une grande révolution scientifique puisqu'elle nous permet d'ouvrir la voie à une nouvelle méthode pour étudier l'Univers. Précédemment, le seul outil que possédaient les scientifiques pour leur recherche était l'analyse des ondes électromagnétiques (comme la lumière) provenant d'objets célestes. Cette découverte est si importante que les scientifiques qui ont participé à cette première détection, Rainer Weiss, Kip Thorne et Barry Barish, ont gagné le prix Nobel de physique en 2017.<sup>3</sup> L'astrophysique est donc maintenant à l'aube d'une nouvelle ère nous permettant d'envisager d'immenses progrès. Albert Einstein aura, encore une fois, prouvé qu'il était en avance sur son temps.

#### RÉFÉRENCES :

1. World Science Festival. Gravitational Waves: A New Era of Astronomy Begins [Vidéo en ligne]. New York; 22 juin 2016 [consulté le 22 mars 2019]. 1h 39 min. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=xj6vV3T4ok8>
2. Veritasium. The Absurdity of Detecting Gravitational Waves [Vidéo en ligne]. 5 janvier 2017 [consulté le 22 mars 2019]. 9 min 6 sec. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=iphcyNWFD10>
3. D'Armagnac B. Le prix Nobel consacre la découverte des ondes gravitationnelles [Internet]. 11 octobre 2017 [cité le 17 avril 2019]. Disponible sur: <https://www.stelvision.com/mysteres-du-ciel/prix-nobel-consacre-decouverte-ondes-gravitationnelles.php>

La détection directe d'ondes gravitationnelles représente une grande révolution scientifique puisqu'elle nous permet d'ouvrir la voie à une nouvelle méthode pour étudier l'Univers.

# 10<sup>e</sup> édition : retour aux sources

Chères lectrices et chers lecteurs,

Cela fait maintenant 10 ans que la revue scientifique du programme Sciences de la nature du Cégep de Valleyfield est publiée comme le rappellent ces dix couvertures. Pour notre 10<sup>e</sup> édition, nous avons contacté les instigateurs de ce projet afin de savoir ce qu'ils avaient à nous raconter sur l'origine de notre revue scientifique *Ça, c'est de la science!*

Hélène Lévesque, enseignante de biologie et coordonnatrice du programme Sciences de la nature



Avant la revue, les étudiantes et étudiants concevaient une affiche pour résumer leur travail de l'épreuve synthèse. C'était un peu contraignant, car la longueur des textes y était limitée. De plus, la diffusion de leur travail était limitée au Cégep, lors d'une exposition de quelques jours dans le hall. André Langevin réalisait les affiches et, lors d'une séance de travail, nous avons abordé ces deux inconvénients. C'est lors de cette rencontre que l'idée de remplacer ces affiches par une revue nous est venue.

La suggestion a été reçue avec enthousiasme par les professeurs du programme. La revue est née l'année suivante. Je me dois de souligner que, sans la contribution exceptionnelle du directeur des études de l'époque, M. Yves Fontaine, la revue n'aurait pas vu le jour. C'est en effet M. Fontaine qui, à même son budget discrétionnaire, a fourni les sommes nécessaires à son impression. Il devinait que cette revue serait un succès qui durerait des années.

Donald Pelletier, enseignant de physique de 1976 à 2012

Félicitations pour vos 10 ans!

Je vous remercie de me faire l'honneur de souligner les 10 ans de la revue scientifique du Collège de Valleyfield. En 2009, les professeurs du programme de Sciences de la nature cherchaient une façon de valoriser les travaux de fin d'année des étudiantes et des étudiants et de faire plus de place aux sciences dans notre vie active. La publication d'articles scientifiques s'est avérée un excellent moyen de contribuer à démocratiser les sciences et à vulgariser certains phénomènes scientifiques quotidiens. Je suis très fier que cette initiative départementale perdure dans le temps et enrichisse la communauté collégiale grâce à ces textes de grande qualité et écrits avec rigueur. Comme la publication de cette revue coïncide avec la fin de l'année scolaire et le début des vacances estivales, j'ai toujours commencé les miennes par la lecture attentive de la plus récente édition et je ne manquerai pas à la tradition encore cette année. Bonne chance aux étudiantes et aux étudiants du programme dans la continuité de leurs études scientifiques et merci au département, à la direction des études et à la Fondation du Collège pour leur appui inconditionnel à cette belle initiative.

Guy Laperrière, directeur général de 2006 à 2016

# Les finissants(es) en Sciences de la nature du Cégep de Valleyfield et leurs professeurs(es)



## AU CÉGEP DE VALLEYFIELD

Les activités sportives et socioculturelles...

à fond  
≡ RIEN!

théâtre | Improvisation | Danse | Football | Natation  
Hockey | Café philo | Soccer | Cheerleading | Basketball  
Fêtes internationales du théâtre | Le Tiers | Comité  
Écho-vert | Comité psychosocial | Cégeps en spectacle  
Forum étudiant | Alliance sport-études | Théâtre  
Improvisation | Danse | Football | Natation | Badminton  
Café philo | Soccer | Cheerleading | Basketball | Hockey  
cosom | Volleyball | Flagfootball | Cross-country | Fête  
internationale | Théâtre | Le



Concept unique au Cégep de Valleyfield, la Vie intense intégrée aux études te permet de vivre tes passions à plein régime!

INCLUS : soutien académique, horaire de cours adapté, conférences, formations spéciales et bien plus encore!

POUR INFORMATION : 450 373-9441, poste 491  
service.animation@colval.qc.ca | www.colval.qc.ca

# SCIENCES DE LA NATURE AU CÉGEP DE VALLEYFIELD

## >>> TON PASSEPORT POUR L'UNIVERSITÉ!



2 profils disponibles

**SCIENCES DE LA SANTÉ**  
**SCIENCES PURES ET APPLIQUÉES**

Double DEC

**SCIENCES DE LA NATURE**  
**& ARTS VISUELS**

>>> 3 ans + 2 formations =  
la combinaison parfaite pour TES passions!

Au Cégep de Valleyfield, le programme Sciences de la nature t'offre :

- Des projets uniques comme la Revue scientifique des finissants; une première rédaction scientifique distribuée à raison de 3 000 exemplaires dans plusieurs écoles et commerces de la Montérégie et du Grand Montréal
- Des activités pédagogiques concrètes comme :
  - l'utilisation d'un observatoire d'astronomie sur le toit du Cégep
  - une excursion géologique sur le terrain
- Des laboratoires à la fine pointe de la technologie
- Plusieurs mesures d'aide pour faciliter ton intégration à la 1<sup>re</sup> session

**Programmes universitaires contingentés intégrés par nos diplômés en Sciences de la nature au cours des dernières années : MÉDECINE | PHARMACIE | SCIENCES BIOMÉDICALES | GÉNIE | DROIT COOPÉRATIF | ERGOTHÉRAPIE | KINÉSIOLOGIE | NUTRITION | ARCHITECTURE**

## Étudiant d'un jour

### AU CÉGEP DE VALLEYFIELD

Journée complète ou demi-journée d'exploration  
dans le programme de ton choix! INSCRIPTION : [www.colval.qc.ca/edj](http://www.colval.qc.ca/edj)

 Collège de  
Valleyfield  
L'HISTOIRE • L'EXPÉRIENCE • LE SUCCÈS

[communication@colval.qc.ca](mailto:communication@colval.qc.ca)

imprimerie  
**multiplus**

coopsco



SYNDICAT  
DES ENSEIGNANTES  
ET DES ENSEIGNANTS  
DU COLLÈGE DE VALLEYFIELD

**MDA**  
UNE SOCIÉTÉ MAXAR



Dépanneur Victoria  
Entreprise THT