

Ça, c'est de la **SCIENCE!**

Revue scientifique des étudiant(e)s en Sciences de la nature du Cégep de Valleyfield

N° 16 | Printemps 2026





Ça, c'est de la science ! Une exclamation qui revient chaque fin d'année depuis maintenant 16 ans et qui ponctue de manière marquante la fin d'une autre année scolaire. C'est un moment où l'on célèbre aussi une nouvelle cohorte de finissantes et de finissants de notre programme Sciences de la nature. Une grande fierté, célébrée chaque année au Cégep de Valleyfield.

Dans le jargon pédagogique, on parle de tâche authentique pour définir ce que les étudiant(e)s peuvent appeler « faire du concret » ou « appliquer la théorie à des vraies affaires. » La revue scientifique correspond exactement à cette approche, qui est de plus vécue comme épreuve synthèse de programme. Je souligne donc l'importance et la pertinence du travail des enseignant(e)s et des technicien(-ne)s en travaux pratiques des disciplines qui composent nos sciences de la nature. Ces personnes donnent toutes un sens profond et incarné au développement d'un esprit de synthèse chez nos étudiant(e)s. Je ne peux m'empêcher de souligner aussi que c'est la toute première revue scientifique reflétant les apprentissages issus de notre nouveau programme Sciences de la nature, implanté en automne 2024. Là encore, chapeau à notre personnel enseignant et de soutien.

Je me joins à toutes les personnes qui auront la chance de vous lire, chères étudiantes et chers étudiants, pour vous féliciter pour ce partage de vos apprentissages et de vos découvertes. C'est habité par un beau mélange de fierté et d'intérêt que je lirai vos hypothèses et vos analyses de différents phénomènes naturels qui éveillent votre curiosité et animent votre regard jeune et contemporain sur le monde. Nous reconnaissons l'important travail que la réalisation de la revue scientifique vous a demandé. Chapeau !

Merci à toutes les personnes qui contribuent aussi à la beauté visuelle et linguistique de la revue. Vraiment, *Ça, c'est de la science !*

Etienne Leduc
Directeur des études

Chers lecteurs et chères lectrices, c'est donc à notre tour de clore le chapitre de nos études collégiales pour en ouvrir un nouveau. Tout au long de ces quelques années en Sciences de la nature, nous avons appris un nombre astronomique de connaissances scientifiques à travers la chimie, la physique, la biologie et les mathématiques. Nous, les finissant(e)s du programme, avons réuni nos forces pour construire d'incroyables projets dotés d'une originalité à couper le souffle afin de vous transmettre quelques-uns de ces incroyables apprentissages.

C'est donc avec plaisir que nous vous présentons la sélection de nos douze articles coup de cœur pour la 16^e édition de *Ça, c'est de la SCIENCE !* du Cégep de Valleyfield. En espérant que vous éprouverez autant de plaisir à nous lire que nous en avons eu à écrire nos articles.

Mais juste avant de vous laisser à votre lecture, nous aimerions décerner une mention spéciale aux enseignant(e)s qui ont participé. Merci à vous pour votre implication dans cette fantastique aventure : Eric Demers, Amélie Derome, Simon Labelle, Marie-Ève Provost-Larose, Nicolas Rey-Le Lorier et Dominique Tessier. Un très grand merci à notre coordonnateur et professeur Bénédicte Plante pour la gestion remarquable qu'un projet comme celui-ci demande.

N'oublions pas Madeleine Charette, notre graphiste, et Guillaume Robidoux, notre réviseur linguistique, tous deux ayant donné leur précieux temps et le fruit de leurs grands talents pour assurer la beauté graphique et langagière de notre revue scientifique.

Nous offrons aussi nos plus sincères remerciements à la direction des études, à la direction des affaires étudiantes, à l'Association étudiante du Cégep de Valleyfield (AECV), à la Fondation du Cégep de Valleyfield, ainsi qu'à tous les services d'aide pour leur soutien et leur rôle crucial au sein de la communauté collégiale.

À présent, nous souhaitons vous avoir mis l'eau à la bouche d'apprendre et vous avoir donné envie de joindre le programme Sciences de la nature. Bonne lecture !



Sincèrement,

De tous les membres du comité de la revue scientifique :
Mariane Nolin, Marika Pilon, Hubert Bernard, Francis Leduc, Mathis Godhue, Bob Loris Iraha, Vincent Beauvilliers, Léonie Despots, Charline Lalonde, Élia Bourdeau, Amna Hussain, Guillaume Poirier, Danik Laflamme et Katheryne Brazeau

TABLE DES MATIÈRES



04



14



06



24



28

AIL, AIL, AIL !	04
ZE PARAPEW : UN JOUET QUI PEUT RAFRAICHIR LES PETITS ET LES GRANDS, N'IMPORTE OÙ, N'IMPORTE QUAND !	06
LES MATHS AU COEUR DE LA MUSIQUE	08
LA CRÉATION DE L'ONDE MUSICALE	10
LES OCÉANS, UNE LIMONADE GÉANTE	12
DES MICROPLASTIQUES DANS L'EAU : UN PROBLÈME INVISIBLE QUI NOUS TOUCHE TOUS	14
FINISSANT(E)S EN SCIENCES DE LA NATURE DU CÉGEP DE VALLEYFIELD ET LEURS PROFESSEUR(E)S.....	16
CAFÉINE : MODE D'EMPLOI POUR ÉTUDIANTS FATIGUÉS	18
COURIR AVEC UN MOTEUR EN PLUS : LE RÔLE DU PRÉ-WORKOUT	20
UN MIROIR TOURNANT POUR MESURER LA VITESSE DE LA LUMIÈRE.....	22
LES BACTÉRIES, LES ALLIÉES DE L'EXTRACTION DES MÉTAUX	24
L'HYDROÉLECTRICITÉ POUR LES NULS : LES COULISSES D'UNE MINICENTRALE !.....	26
DIOXYDE DE CARBONE : POUSSINS PRÉMATURÉS OU ASPHYXIÉS ?	28
CONCOURS DE PHOTOS SCIENTIFIQUES	30

COMITÉ DE RÉDACTION

Étudiant(e)s :

Mariane Nolin
Marika Pilon
Hubert Bernard
Francis Leduc
Mathis Godhue
Bob Loris Iraha
Vincent Beauvilliers
Léonie Despots
Charline Lalonde
Élia Bourdeau
Amna Hussain
Guillaume Poirier
Danik Laflamme
Katheryne Brazeau

Professeur(e)s :

Bénédict Plante
Simon Labelle
Nicolas Rey-Le Lorier
Marie-Ève Provost Larose
Dominique Tessier
Amélie Derome
Éric Demers

Conception graphique :

Madeleine Charette

Révision linguistique :

Guillaume Robidoux

Collaboration spéciale :

Marie-Andrée Godbout
Raphaëlle Thomas
Michelle Lemay

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 au www.cegepvalleyfield.ca, dans la rubrique « Programmes d'études – Préuniversitaires », sous le titre du programme « Sciences de la nature ».

AIL, AIL, AIL!

PAR ÉLINA BOURDEAU, LAURENCE PRIMEAU ET ARIANN TREMBLAY

Et si la science vous démontrait qu'une molécule présente dans l'ail promettait de contribuer au bien-être des personnes atteintes d'une infection ?

Imaginez-vous qu'une bactérie s'attaque à votre système immunitaire et qu'une infection évolue en vous. Ne pouvant plus endurer les symptômes, vous souhaitez aller consulter un(e) professionnel(-le) de la santé, mais vous n'avez pas de médecin de famille. Vous n'avez donc pas le choix d'aller à l'urgence, mais vous redoutez le temps d'attente. Vous aimeriez avoir facilement accès à un produit qui atténuerait vos symptômes durant le temps d'attente ou même diminuerait l'ampleur de l'infection. Et si ce produit se trouvait tout simplement dans votre cuisine ? Les propriétés antibiotiques de l'ail sont-elles un mythe ou une réalité ?

L'ingrédient magique

Vous trouvez l'odeur de l'ail désagréable ? Vous trouverez sûrement moins désagréable la molécule responsable de celle-ci après avoir pris conscience de son importance. Cette molécule est l'*allicine* et elle est reconnue pour ses propriétés antibactériennes. Cette substance se forme dès que la surface de l'ail est rompue. Cet événement enclenche un processus enzymatique qui produit les molécules nécessaires à la création de votre nouvel allié. On compare souvent ses effets à un antibiotique, un médicament qui ralentit la croissance des bactéries ou les tue complètement. La pénicilline est l'un des antibiotiques qui a des propriétés antibactériennes semblables à celles de l'allicine, selon certain(e)s chercheur(-euse)s (1).

De l'ail à la gélose : des résultats surprenants

Lors d'une expérience en laboratoire, l'allicine a été extraite de l'ail par un processus de macération, de filtration et d'évaporation afin d'évaluer l'efficacité de ses propriétés antibactériennes (figure 1). La solution d'allicine obtenue a ensuite servi à effectuer un antibiogramme, c'est-à-dire un test évaluant la sensibilité de

Et si la science vous démontrait qu'une molécule présente dans l'ail promettait de contribuer au bien-être des personnes atteintes d'une infection ?

certaines bactéries à un antibiotique. Leur sensibilité s'évalue par le diamètre de la zone d'inhibition des bactéries constaté sur la gélose à la suite d'une incubation de 48 heures. Cette zone correspond, sur un tapis bactérien, à l'endroit où les bactéries ont été éradiquées par l'antibiotique (figure 2).

Les résultats obtenus à la suite de cette expérimentation ont confirmé que l'allicine réduit réellement la croissance des bactéries de manière plus polyvalente que la pénicilline. En effet, malgré le fait que ces deux substances ont des propriétés similaires, l'allicine agit contre la bactérie *E. coli* et la bactérie *S. aureus*

contrairement à la pénicilline, qui a seulement réussi à arrêter la croissance de la bactérie *S. aureus*. En d'autres mots, la molécule présente dans l'ail fonctionne contre les deux familles de bactéries décrites ci-bas, tandis que la pénicilline agit uniquement contre les bactéries dont la paroi protectrice est plus faible. Conséquemment, ce dérivé de l'ail possède un plus grand champ d'action sur les différents types de bactéries.

Cependant, l'efficacité de la pénicilline est plus grande que celle de l'antibiotique naturel. L'expérience a révélé que le diamètre moyen de la zone d'inhibition pour la bactérie *S. aureus* avec cet antibiotique était de 4,45 cm (figure 2). C'est comme si une balle de golf avait atterri sur la gélose et qu'elle avait détruit toutes les bactéries sur son chemin ! L'allicine a pour sa part un diamètre d'inhibition de 3,21 cm pour *S. aureus* et de 1,60 cm pour *E. coli*, ce qui correspond respectivement à 1,3 fois le diamètre d'une pièce de 25 sous et à la taille d'un 10 sous. L'écart entre les diamètres d'inhibition obtenus dans cette expérience peut être expliqué par la différence entre les mécanismes de défense des deux types de bactéries utilisées.

Le fait que l'allicine extraite en laboratoire présente des effets antibiotiques sur les deux familles de bactéries utilisées dans cette expérience permet d'affirmer que cette substance contient au moins la concentration minimale pour ralentir la

Des gousses d'ail



Figure 1 : Des gousses d'ail. Source : S N. Des gousses d'ail [pexels en ligne]. 2024. Disponible : <https://www.pexels.com/fr-fr/photo/nourriture-aliments-le-gumes-ampoule-24783891/>

Zone d'inhibition



Figure 2 : La mesure du diamètre d'une zone d'inhibition. Source : Tremblay A. La mesure du diamètre d'une zone d'inhibition [Photographié avec l'iPhone d'Ariann avec l'application appareil photo]. 2026.



Figure 3 : Plusieurs bactéries *Escherichia coli*. Source : HijabZohra. Pathogenic salmonella bacteria, *Escherichia coli* E Coli cells or bacterium under microscope [Stock.Adobe en ligne]. 2025. Disponible : HijabZohra photos, images, assets | Adobe Stock

croissance des bactéries. L'allicine est une substance hautement volatile et sensible à la chaleur, il est donc difficile de connaître le niveau de pureté de l'échantillon obtenu. Toutefois, des expériences similaires antérieures ont démontré que la concentration minimale d'allicine pour agir contre les bactéries *E. coli* et *S. aureus* était de 0,17 mM (1).

Positif ou négatif ?

Il existe deux grands groupes de bactéries, les bactéries à Gram positif et les bactéries à Gram négatif. Ces deux groupes se distinguent par leur type de paroi cellulaire, c'est-à-dire leur couche protectrice externe. Les bactéries à Gram positif possèdent une paroi relativement simple, tandis que les bactéries à Gram négatif possèdent une paroi plus complexe (2). L'une des façons de visualiser cette différence est de s'imaginer le mur d'un vieux château et celui d'une maison moderne. Le mur du château est simple, car il est seulement constitué de roches, tandis que le mur de la maison est beaucoup plus complexe avec ses différents constituants, comme le revêtement, l'isolant, le contreplaqué et la structure de bois. Par conséquent, dans cet exemple, le premier mur représenterait la paroi d'une bactérie à Gram positif et le second, celle d'une bactérie à Gram négatif. Le fonctionnement de plusieurs antibiotiques consiste à attaquer directement la paroi cellulaire des bactéries. Toutefois, certains antibiotiques ne sont efficaces que

contre les parois des bactéries à Gram positif et d'autres seulement contre les parois des bactéries à Gram négatif. Par conséquent, pour mesurer la véritable efficacité des propriétés antibactériennes de l'allicine, il faut absolument tester celle-ci sur ces deux grands groupes de bactéries. C'est pourquoi, dans l'expérience mentionnée plus haut, l'antibiogramme a été effectué sur les bactéries *E. coli* et sur les bactéries *S. aureus*. Les bactéries *S. aureus* sont des bactéries à Gram positif, tandis que les bactéries *E. coli* sont des bactéries à Gram négatif (figure 3).

Oui, mais...

L'utilisation de l'allicine comme alternative aux antibiotiques soulève plusieurs enjeux. Tout d'abord, il existe un important risque d'automédication. Comme l'allicine provient de l'ail, un produit naturel, certaines personnes pourraient croire qu'il n'existe aucun danger lié à la consommation de ce produit. Pourtant, même les produits naturels peuvent occasionner des effets secondaires s'ils sont mal utilisés. De plus, le dosage peut rapidement représenter un grand défi : une quantité trop faible pourrait être inefficace pour se débarrasser des bactéries affectant le corps humain, tandis qu'une quantité trop importante pourrait rapidement devenir nocive pour la santé. Même si l'allicine présente dans l'ail est un produit naturel, pourrait-elle être nocive pour les enfants ou les

personnes âgées ayant des systèmes immunitaires souvent plus fragiles ?

Une planète plus verte

L'utilisation de l'allicine pour combattre les bactéries peut présenter certains avantages sur le plan environnemental. Se soigner à partir d'ail permettrait de réduire l'usage de produits chimiques synthétiques. Les médicaments traditionnels sont généralement fabriqués à partir de composés chimiques produits industriellement, ce qui peut engendrer énormément de pollution lors de leur fabrication. Employer des produits naturels comme l'ail pour créer des médicaments pourrait potentiellement représenter une solution beaucoup plus écologique.

Piste de solution

Les antibiotiques jouent un rôle clé dans l'ensemble des mesures qui contribuent activement à la santé de la population. Pour l'instant, l'allicine et ses propriétés antibactériennes constituent une intéressante piste de recherche dans le domaine de la santé. Poursuivre ces recherches pourrait mener au développement d'un antibiotique naturel à base d'ail qui combattrait les infections courantes et qui réduirait la surcharge des hôpitaux en pouvant être prescrit directement par le pharmacien. En attendant que ces recherches se concrétisent, braver le temps d'attente de l'hôpital reste la meilleure option. Espérons que cet antibiotique soit développé rapidement !

Saviez-vous que l'ail était déjà utilisé durant l'Antiquité ?

Durant cette période, cette plante était utilisée comme remède contre les morsures de serpent. Aussi, le fameux Hippocrate, un médecin et philosophe grec de cette époque, a mentionné les bienfaits de l'ail pour la cicatrisation des blessures et le traitement de la pneumonie (1). C'est tout simplement incroyable de constater qu'avant notre ère, les propriétés de l'ail étaient déjà reconnues !

Références bibliographiques :

1. Borlinghaus J, Albrecht F, Gruhlke MCH, Nwachukwu ID, Slusarenko AJ. Allicin : Chemistry and Biological Properties. *Molecules* [En ligne]. 19 août 2014 [cité le 24 févr 2026] ; 19(8) : 12591-618. Disponible : <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6271412/>
2. Urry LA, Cain ML, Wasserman SA, Minorsky PV, Reece JB, Campeau-Péloquin A, et al. *Campbell Biologie*. 5e édition. Montréal : Pearson ERPI ; 2020 [cité le 14 avril 2026].

ZE PARAPEW : UN JOUET QUI PEUT RAFRAICHIR LES PETITS ET LES GRANDS, N'IMPORTE OÙ, N'IMPORTE QUAND !

PAR AMÉLIE FAILLE, AMNA HUSSAIN ET CHARLINE LALONDE

Êtes-vous désespéré(e)s de voir les enfants passer leurs journées sur des appareils électroniques ? Nous avons trouvé la solution idéale pour vous ! Un jouet rafraichissant, cocasse et portable pour motiver les jeunes à aller jouer à l'extérieur et à interagir.

On va se le dire, une vie d'étudiant(e), ça peut être fatigant. Quoi de mieux qu'un délire scientifique pour faire revenir les moments magiques de l'enfance ? Par exemple, un fusil à eau qui serait aussi un bouclier, ne serait-ce pas l'arme parfaite pour les journées chaudes sans piscine ? Dommage que ce ne soit qu'un rêve... Ou pas !

Pourquoi ce projet ?

Pour nous, il était très important que notre projet de fin de programme soit un peu farfelu. Nous savions que nous allions passer la majorité de notre dernière session au cégep à travailler sur ce projet. Alors, dès que nous avons su que nous avions une certaine liberté quant au style que nous pouvions choisir, il est devenu clair pour nous que notre projet allait inclure de la construction et des expériences de physique. Puis, lors de la première rencontre exploratoire, Amna nous a confié sa merveilleuse idée : concevoir un parapluie-fusil à eau ! Ce projet nous a semblé parfait à toutes les trois et notre superviseur nous a permis de réaliser notre idée assez folle.

Notre premier prototype

Au début de nos recherches, nous étions un peu mélangées par le nombre d'options de mécanismes de fusil à l'eau qui existaient déjà. On pouvait même envisager d'inclure une seringue pour prélever de l'eau, ou encore un réservoir

pour ne pas avoir à le recharger sans cesse (1). Et les matériaux ! Il fallait aussi étudier les caractéristiques hydrodynamiques de l'eau, afin de décrire son type d'écoulement. Après beaucoup de questionnement et un prototype en carton sans pompe ni toile, nous avons trouvé un type de pompe assez intéressant qui contient des valves, des tuyaux et des cylindres. Sur la figure 1, vous pouvez voir le prototype #1 qui possède une poignée qui servirait de réservoir d'eau relié au mécanisme interne par un petit tuyau. Ce mécanisme interne est une petite pompe qui fonctionne sur le principe d'une seringue et se trouve à l'intérieur du manche du parapluie. Le piston de la petite pompe est relié à une poignée amovible circulaire qui glisse le long de la partie extérieure du manche du parapluie. Oui, d'accord, mais comment l'eau allait réussir à sortir en jet ? Suivons le voyage de l'eau à partir du début : celle-ci va sortir du réservoir et voyager à travers le petit tube en direction du mécanisme de piston. Ensuite, elle va passer à travers la première valve lorsqu'on ouvrira le parapluie, va ressortir par la deuxième valve qui se trouve en haut du cylindre, voyager dans un deuxième petit tuyau pour finalement sortir en jet au bout du parapluie (voir le schéma de la figure 1). Par la suite, nous avons appliqué le *théorème de Bernoulli* pour trouver la vitesse de l'eau. En résumé, le théorème de Bernoulli précise la relation

entre la pression et la vitesse d'un fluide, en tenant compte des pertes causées par les turbulences et le frottement du fluide, lesquelles sont calculées à l'aide d'une formule plus complexe que nous vous épargnerons ici. La formule simplifiée du théorème de Bernoulli serait (2) :

$$\text{Vitesse}^2 \text{ (à la sortie)} = \text{Pression (dans le réservoir)} - \text{Pertes}$$

Autrement dit, la pression fournie lors de la poussée est utilisée pour faire prendre de la vitesse à l'eau. Ce mécanisme est similaire à celui d'une bouteille d'eau compressive utilisée par les sportif(-ve)s : lorsqu'on exerce une pression sur la bouteille, l'eau en sort à une vitesse correspondant à la pression utilisée et l'équation de Bernoulli permet de calculer de manière détaillée la vitesse qui correspond à une pression donnée. De plus, il faut savoir que plus la force appliquée sur la poignée est grande, plus la pression augmente. Dans le cas de notre prototype #1, la pression est fournie par la personne qui appuie sur la poignée du parapluie. Dans nos calculs, nous supposons une force de 50 N, ce qui correspond environ au poids d'une masse de 5 kg. Les pertes de pression, elles, ne sont pas aussi simples à calculer puisqu'elles dépendent de la vitesse d'écoulement. Les calculs doivent donc être formulés avec précaution. Finalement, ces calculs nous donnent une vitesse de jet de 0,68 m/s. Si l'on tient

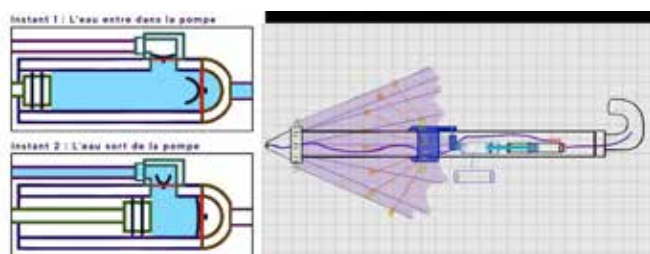


Figure 1 : À gauche, on voit le fonctionnement de la pompe interne du premier prototype dessinée en deux instants et, à droite, le prototype #1 espéré.
Source : Images créées par Amélie Faille et Amna Hussain, mars 2026.

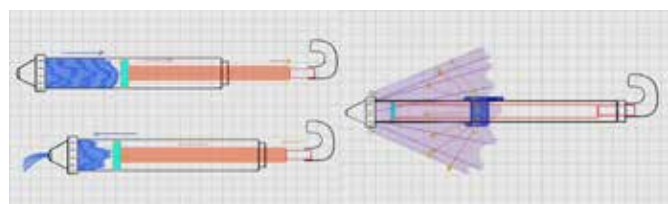


Figure 2 : À gauche, on voit le fonctionnement de la pompe interne du deuxième prototype dessinée en deux instants et, à droite, un croquis du prototype #2.
Source : images créées par Amna Hussain, avril 2026.



Figure 3 : Le parapluie-fusil à eau final sans la toile, puisqu'elle a été retirée pour mieux voir le dispositif. Source : photographie par Charline Lalonde, le 12 avril 2026.

le parapluie à une hauteur de 1 m, cette vitesse correspond à un jet qui se rend jusqu'à 31 cm de l'embout du prototype (3). Pour ce prototype #1, la vitesse est basse à cause des grosses pertes de pression causées par les valves et par la minceur du cylindre.

Problèmes de fabrication

Quelques semaines étaient déjà passées lorsque nous sommes finalement descendues de notre nuage : c'est amusant et pratique une imprimante 3D, sauf quand on veut des pièces extrêmement précises, étanches et solides. Le premier problème que nous avons dû résoudre était l'aplatissement du cylindre interne : le piston ne rentrait tout simplement pas dans le cylindre puisque ce dernier avait une forme ovale. Alors, nous avons modifié les pièces et nous les avons réimprimées. Or, le cylindre ne fonctionnait toujours pas : des résidus de fils de l'imprimante le bloquaient de long en large. Comme solution, nous avons essayé de bruler le plastique, mais cela a complètement enlevé l'étanchéité du cylindre. Nous avons dû nous rendre à l'évidence : il fallait repenser notre prototype et utiliser des matériaux plus fiables...

De toute manière, nos estimations quant aux pertes de pression du prototype #1 avaient révélé que le débit de l'eau serait faible en raison du passage de l'eau dans les valves et du petit diamètre du cylindre. Alors, puisque nous n'avions pas d'autres solutions, nous avons réfléchi à un nouveau mécanisme interne.

Notre deuxième prototype

Nous avons alors pensé à un nouveau mécanisme interne qui consistait à réutiliser

le manche du parapluie pour en faire une seringue géante ! Ainsi, nous ne devions pas tout recommencer ! Nous nous sommes alors dirigées vers le RONA le plus proche pour acheter de nouveaux matériaux : un bouchon de baignoire qui allait être utilisé comme piston, un tube de plastique de diamètre plus petit qui allait entrer dans le manche du parapluie pour s'attacher au bouchon, des rondelles en bois pour stabiliser le piston et beaucoup de silicone. Nous avons modifié les calculs de vitesse et de distance du jet d'eau et assemblé le nouveau prototype. À la figure 2, vous pouvez voir un croquis de ce deuxième prototype doté

Le PARAPEW® est la preuve que tout peut être réalisé lorsque la créativité, la folie et la science se rencontrent.

d'un mécanisme interne différent. Comparativement au premier prototype, celui-ci possède un mécanisme beaucoup plus simple. D'abord, on met l'embout dans l'eau, ensuite on tire la poignée du parapluie vers soi pour aspirer de l'eau à l'intérieur du manche et, finalement, on place le parapluie à l'horizontale. Il ne reste plus qu'à pousser la poignée vers l'intérieur du manche et à s'assurer d'être bien aligné avec la cible. Et voilà ! l'eau va se faire recracher par l'embout ! Dans ce prototype, donc, le piston et la poignée amovible agissent de manière indépendante, à l'inverse du premier prototype. Dans ce nouveau prototype, il n'y a plus de valves ; les calculs de la vitesse du jet sont alors beaucoup plus simples, car il y a moins de pertes de pression lors de l'écoulement. De plus, comme pour le

prototype #1, le plus important est que plus la force appliquée sur la poignée est grande, plus la pression augmente. Nous avons obtenu une vitesse finale d'environ 14 m/s et, grâce à celle-ci, nous avons trouvé que la distance du jet serait de 6 m à une hauteur d'un mètre. Une fois les calculs terminés, on peut conclure qu'en théorie la vitesse et la distance du jet du prototype #2 sont beaucoup plus prometteuses que celles du prototype #1. Les expériences réalisées en laboratoire ont mesuré une vitesse de jet d'environ 10 m/s ; cette vitesse est un peu en dessous de nos estimations, ce qui indique que les pertes de pression sont probablement plus importantes que prévu. Cette vitesse est cependant amplement suffisante pour atteindre le but, soit d'arroser amis et membres de nos familles. Le PARAPEW® devrait donc être prêt pour la saison estivale (figure 3) ! En conclusion, malgré les difficultés rencontrées lors de notre projet, la persévérance a été notre meilleure alliée lorsque nous devions trouver des solutions. Et entre nous, le PARAPEW® est la preuve que tout peut être réalisé lorsque la créativité, la folie et la science se rencontrent. Nous espérons que ce nouveau jouet va divertir vos enfants. Nous avons peut-être la solution parfaite pour les divertir en hiver aussi : le Snow-E, une version du petit robot Wall-E de Disney-Pixar en format bloc de neige pour aider les enfants à faire des forts en neige ! Qu'en pensez-vous ?

Une mention spéciale à notre superviseur, qui a vu du potentiel et beaucoup d'espoir en nous, et à nos papas, qui nous ont aidées à rendre ce projet réalisable.

Références bibliographiques :

1. Land L. Comment fonctionne un Pistolet à Eau : Guide d'utilisation et sécurité [En ligne]. Boutique Pistolet Orbeez | Loisir Land. 2024 [cité le 14 avr 2026]. Disponible : <https://www.loisir-land.com/comment-fonctionne-un-pistolet-a-eau-guide-dutilisation-et-securite/>
2. Beaudry JP, Rolland JC. Mécanique des fluides appliquée. 2e édition. Eastman : Berger ; 1995 [cité le 24 févr. 2026]. 346 p. Disponible : <https://valleyfield.koha.collecto.ca/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=1565>
3. Séguin M, Descheneau J, Tardif B. Physique XXI. 1 : Mécanique. 2e édition. Montréal (Québec) Canada : ERPI ; 2024 [cité le 14 avril 2026]. 598 p. (Sciences [ERPI]). Disponible : https://valleyfield.koha.collecto.ca/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=397969&query_desc=physique%20xxi%20marc%20seguin

LES MATHS AU CŒUR DE LA MUSIQUE

PAR CHARLES POMMINVILLE, ARNAUD TUMUKUNDE ET JAMES KOFFI N'BOUKE

La musique, au cœur de la vie de tous depuis l'âge de pierre, est quelque chose de fascinant. Comment est-ce que de simples instruments peuvent produire autant de sons différents ? Le secret de la musique réside dans un monde invisible à nos yeux, guidé par les lois fondamentales de la physique.

Des millions de personnes utilisent des logiciels comme Shazam ou SoundHound afin d'identifier une pièce de musique seulement par son écoute. Mais, vous êtes-vous déjà demandé comment une telle application fonctionne ? Il est fascinant de voir comment une machine est capable, en captant des sons, d'identifier une chanson parmi probablement les centaines de millions qui existent. Le fonctionnement de ces applications est basé sur des concepts mathématiques et physiques relativement complexes. L'outil mathématique le plus important pour leur bon fonctionnement se nomme *la série de Fourier*.

Concrètement, c'est quoi le son ?

Le son est une perturbation dans la pression de l'air qui se propage dans l'espace. Cette perturbation peut être modélisée graphiquement en la captant avec un micro. Dans la situation la plus simple, soit un son unique et continu, le graphique formé serait une fonction sinusoïdale, une sorte de vague infinie dont les pics représentent la valeur maximale de la pression captée :

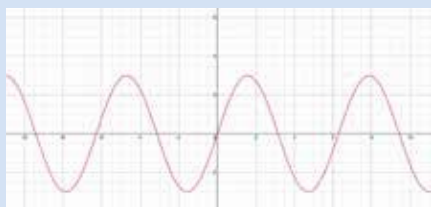


Figure 1 : Onde sinusoïdale harmonique dont l'équation est $f(x) = 3\sin(x)$
Source : Image créée à l'aide du logiciel Desmos

Une telle onde est appelée *onde harmonique* lorsqu'elle est composée de seulement un cosinus ou d'un sinus (voir la fonction ci-dessus). Les sons plus complexes, comme une note jouée par un instrument de musique, pourraient être modélisés par une fonction plus compliquée, que l'on appelle *non harmonique*. Une telle fonction ressemble à cela :

On remarque que, dans les deux cas, la fonction est périodique, c'est-à-dire que

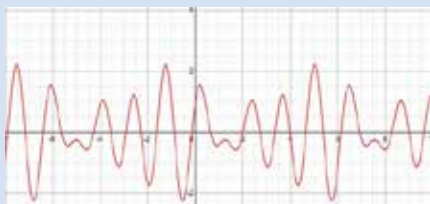


Figure 2 : Onde non harmonique périodique composée de sinus et de cosinus dont l'équation est

$$f(x) = \cos(5x) + 0,5\sin(3x) + \sin(4x)$$

Source : Image créée à l'aide du logiciel Desmos

le même cycle se répète continuellement, à l'infini. Un cycle de cette fonction est appelé *période*. Une fonction périodique est donc une succession infinie de périodes. Nous en reparlerons plus tard, mais le concept de périodicité est essentiel pour la série de Fourier.

Un petit détour sur l'histoire de Joseph Fourier (1)

Joseph Fourier n'a pas eu une vie facile ! Ce dernier naît le 21 mars 1768, et à l'âge de seulement 10 ans, il devient orphelin et doit, pour survivre, rejoindre l'École militaire d'Auxerre deux ans plus tard sous la supervision d'un prêtre. C'est à cet endroit qu'il développe un intérêt pour les mathématiques. À seulement 17 ans, il se fait nommer professeur dans sa ville natale. Le 28 octobre 1795, il devient enseignant à l'École polytechnique, une des écoles les plus prestigieuses de France. En 1807, Joseph Fourier écrit la première version d'un ouvrage intitulé *Théorie analytique de la chaleur* dans lequel il parle notamment des séries de Fourier. L'ouvrage a premièrement reçu un accueil mitigé de la part de l'Académie et Fourier doit le réviser. Cependant, en 1822, après que Fourier fut nommé au poste de secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, le livre est finalement publié avec quelques modifications. Le 16 mai 1830, à 62 ans, Joseph Fourier meurt des suites d'un anévrisme cardiaque. Ses découvertes, dont principalement les séries de Fourier, sont toujours connues et utilisées de nos jours au 21^e siècle par les

mathématicien(-ne)s et physicien(-ne)s, ce qui illustre son importance dans l'histoire des mathématiques.

Mais c'est quoi la série de Fourier, exactement ?

La série de Fourier est un outil mathématique



Figure 3 : Représentation humoristique de Joseph Fourier testant sa théorie sur les ondes sonores
Source : Image générée par l'IA ChatGPT

qui sert à décomposer des fonctions complexes (fonctions non harmoniques) en somme de fonctions plus simples (fonctions harmoniques). En d'autres termes, elle sert à rendre simple et compréhensible ce qui est plus difficile à analyser. Dans sa théorie, Fourier a démontré que n'importe quelle fonction périodique simple peut être décomposée en somme d'ondes harmoniques, soit des cosinus et des sinus (c'est d'ailleurs ce que l'on voit dans la figure 2). Ainsi, ce concept représente un outil très puissant pour l'analyse d'instruments de musique.

Voici donc à quoi ressemble la série de Fourier :

$$S = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)) \quad [1]$$

Ceci est la première forme de la série, mais certains termes doivent aussi être calculés avec ces formules :

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad [2]$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(n\omega t) dt \quad [3]$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(n\omega t) dt \quad [4]$$

En bref, le terme n représente le n ème terme de la série, ce qui représente la position de la fonction harmonique dans la somme. Chaque n est lié à une fonction (un sinus plus un cosinus) et cette fonction est appelée *harmonique*. Les termes a_n et b_n indiquent à quel point chaque harmonique contribue à la fonction totale. Par exemple, si le coefficient a_2 est de 100 et celui de a_3 est de 10, cela veut dire que l'harmonique associée à $n = 2$ va contribuer beaucoup plus à la forme de la fonction totale que l'harmonique $n = 3$. Il est important de noter que le cosinus et le sinus peuvent être combinés (car un sinus n'est qu'un cosinus décalé d'un quart de cycle) dans l'équation de base, pour donner cette forme :

$$S = \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos(n\omega t + \phi_n)) \quad [5]$$

où A_n est l'amplitude de l'harmonique, que l'on calcule avec cette formule :

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad [6]$$

C'est en utilisant la forme de la formule [5] de la série de Fourier qu'il est possible de facilement comparer les harmoniques, car on a l'amplitude totale (A_n) de l'harmonique au lieu de deux amplitudes (a_n et b_n) et différentes par harmonique. C'est aussi avec cette forme qu'il est préférable de faire des calculs, car cela les simplifie beaucoup.

Dans le cas des sons, les coefficients a_n et b_n indiquent à quel point cette fréquence est entendue. Chaque terme de la somme dans la formule [5] correspond à la fréquence d'une harmonique du son. Tous les instruments possèdent plusieurs harmoniques, mais ce ne sont pas les mêmes pour chacun, ce qui explique pourquoi deux instruments différents qui jouent une même note ne sonnent pas de la même façon. Le premier harmonique s'appelle la *fréquence fondamentale* et les autres harmoniques sont des multiples de cette fréquence.

Les applications possibles des séries de Fourier

La série de Fourier est un outil mathématique vaste qui peut être utilisé dans plusieurs domaines. Premièrement, il existe une forme générale de la série de Fourier appelée la *transformée de Fourier*. La principale différence est que la transformée de Fourier permet de calculer les amplitudes de toutes les fréquences d'un son non périodique (exemple : une

Grâce aux séries de Fourier, nous sommes désormais capables de décomposer, d'analyser et de mieux comprendre les sons, la musique et plus largement les ondes.

chanson). La série de Fourier, elle, ne se limite qu'aux amplitudes des harmoniques et n'est donc pertinente que si le signal est périodique (exemple : une note de musique). C'est en faisant tendre la période du signal à l'infini que l'on transforme une série de Fourier en transformée de Fourier.

Comment fonctionne Shazam ? (2)

Il faut d'abord savoir que Shazam n'utilise pas exactement la série de Fourier, mais plutôt la transformée de Fourier, car le signal d'un son n'est presque jamais périodique. Premièrement, l'application découpe l'extrait audio entendu en plusieurs petits segments. Elle applique ensuite la transformée de Fourier afin d'obtenir l'amplitude A correspondant à chaque fréquence harmonique dans chaque segment. Cela fait beaucoup de données, donc, pour éviter que Shazam prenne trop de temps à traiter ces données, le logiciel ne garde que les amplitudes les plus élevées. Enfin, il calcule les temps approximatifs entre deux amplitudes maximales (la combinaison de l'amplitude 1, de l'amplitude 2 et du temps est appelée une *clé* et compare le tout avec sa base de données. La pièce ayant le plus de clés similaires à celles de l'extrait est sélectionnée. Cette méthode est très fiable, car, selon une expérience réalisée en laissant tourner une radio française pendant 7 jours et utilisant une

base de référence de 7 300 titres, le taux de reconnaissance était de 83 %.

La correction des images de Hubble (3)

En 1990, le télescope Hubble est lancé en orbite autour de la terre. Dès l'obtention des premières images, les scientifiques se rendirent compte que ces dernières étaient floues. Ils réalisèrent qu'il y avait une erreur de polissage du miroir primaire de l'ordre d'un cinquantième du diamètre d'un cheveu humain (environ 1,4 micromètre), ce qui causait une convolution significative, c'est-à-dire un étalement de l'image. Une question survint : comment retrouver l'image originale nette à partir d'une image floue ? Pour répondre à cette question, les scientifiques de la NASA employèrent la transformée de Fourier. Les images prises par Hubble furent décomposées en une somme de plusieurs motifs sinusoïdaux de différentes fréquences. Puisque l'erreur à l'origine de la convolution était connue, à savoir l'erreur de polissage, les scientifiques ont pu calculer le facteur par lequel chaque fréquence obtenue par l'application de la transformée de Fourier était multipliée. Par conséquent, la déconvolution de l'image a été faite en divisant chaque terme de la somme par le facteur de convolution qui lui était associé. Ensuite, on a appliqué l'inverse de la transformation de Fourier pour reconstruire la nouvelle image. Ainsi, grâce à ces ajustements, les images du télescope ont pu être utilisées pendant une période de trois ans avant sa réparation en 1993.

La musique a toujours fait partie de la vie des humains. Cependant, il ne faut pas oublier qu'au cœur de la musique se trouve les mathématiques. Grâce aux séries de Fourier, nous sommes désormais capables de décomposer, d'analyser et de mieux comprendre les sons, la musique et plus largement les ondes. Même deux siècles plus tard, la série de Fourier continue de révolutionner le monde scientifique en permettant de nombreuses découvertes en astrophysique ou en reconnaissance du son.

Références bibliographiques :

1. Paul L. FranceArchives [Internet]. FranceArchives; 2024 [cité 24 févr 2026]. Jean-Baptiste Joseph Fourier. Disponible à : https://francearchives.gouv.fr/fr/pages_histoire/82591565
2. Gaël R, Fenet S, Grenier Y. De Fourier à la reconnaissance musicale. Interstices [Internet]. 15 févr 2019 [cité 11 avr 2026]. Disponible à : <https://interstices.info/de-fourier-a-la-reconnaissance-musicale/>
3. DeVorkin D. National Air and Space Museum [Internet]. 2014 [cité 14 avr 2026]. Repairing Hubble. Disponible à : <https://airandspace.si.edu/stories/editorial/repairing-hubble>

LA CRÉATION DE L'ONDE MUSICALE

PAR LYDIE FRAPPIER, ALEXANNE POUPART ET JACOB LAPALME

Le son qui atteint nos oreilles lorsqu'on écoute un musicien jouer est modélisé par les comportements des parties de son instrument. Nous avons construit un banjo pour comprendre sa sonorité unique.

Vous allez à un concert de « country » avec vos ami(e)s lorsque vous remarquez un des musicien(-ne)s qui joue un instrument que vous ne reconnaissez pas. L'instrument en question ressemble vaguement à une guitare, mais au son, vous savez hors de tout doute que ce n'en est pas une. Vous demandez donc à votre ami musicien de quoi il s'agit. Il vous répond que c'est un banjo, un instrument à cordes d'origine africaine caractérisé par le fait qu'il a une membrane semblable à celle d'un tambour. Sa réponse pique votre curiosité et vous vous demandez alors pourquoi ça sonne comme ça !

Pour répondre à cette question, nous avons construit un banjo et nous avons réalisé quelques expériences sur ses différents composants en commençant par la membrane (peau tendue) et la caisse de résonance (espace circulaire où l'air oscille). Les tests furent effectués à la verticale, car c'est la position habituelle du banjo. Nous avons donc collé notre pont sur la membrane afin de le maintenir en place sans les cordes. Ensuite, nous avons mis un résonateur pour jouer le rôle des cordes qui font vibrer le pont et la membrane (figure 1).

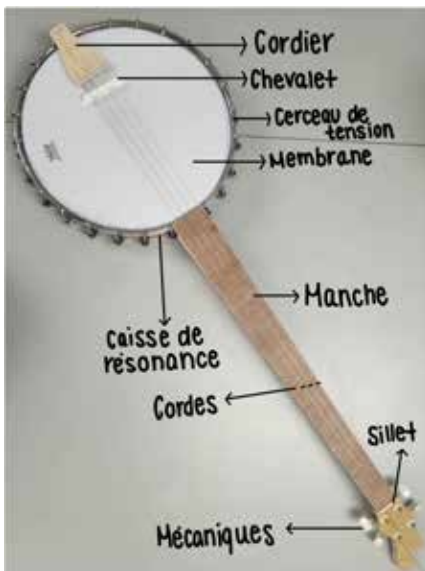


Figure 1 : Le banjo que nous avons construit et son anatomie. Source : Photo prise par notre équipe. [dessin créé à l'aide du logiciel GoodNotes]. Avril 2026.

Nos expériences nous ont permis de constater que la membrane et la caisse de résonance du banjo favorisent des tons autour de 70 Hz, 144 Hz, 259 Hz,

357 Hz, 436 Hz et 509 Hz (ces fréquences indiquent la vitesse à laquelle les molécules d'air vibrent). De plus, nous avons pu observer que le son est plus fort en arrière et en avant de la membrane et de la caisse de résonance, puisqu'elles vibrent beaucoup plus que le bois. Elles ont pour rôle d'amplifier et de projeter les vibrations qui lui sont transmises par les cordes. Puisqu'elles modifient le son qu'elles reçoivent, nous observons qu'elles jouent un rôle primordial dans la sonorité de l'instrument.

Tous les composants du banjo ont des fréquences auxquelles ils ont envie de vibrer et, lorsqu'on les combine, on obtient un objet qui va vouloir vibrer plus fort dans des fréquences précises et c'est justement ça qui distingue les instruments de musique les uns des autres.

Une petite visite à l'infrastructure ICAR à l'ÉTS

Pour obtenir nos résultats, nous avons mesuré le volume du son lorsqu'on agite la membrane, à une fréquence précise, directement sur le pont. En modifiant les fréquences auxquelles nous agitions la membrane, nous avons pu observer l'intensité des ondes sonores que celle-ci produit selon la fréquence utilisée. En acoustique, on appelle cette propriété le spectre de l'instrument. La difficulté d'un test comme celui-ci provient du fait qu'il faut isoler le son qu'on veut étudier. Quand on entend un son, on entend à la fois le son qui provient de la source qui l'émet et le son qui a frappé les murs de la salle qui ont altéré le son de toutes sortes de manières. Puisque nous nous intéressons au son du banjo et non pas à celui de la salle, il a fallu réaliser nos expériences dans une chambre anéchoïque. Il s'agit d'une salle conçue pour éliminer toute forme d'écho et de réflexion du son. Ces installations ne sont pas très nombreuses au Québec, donc nous avons eu de la chance d'avoir accès à celle de l'ICAR, Infrastructure Commune en Acoustique pour la Recherche, appartenant au GRAM, Groupe de Recherche en Acoustique de Montréal, une unité de recherche de l'École de technologie supérieure (figure 2).

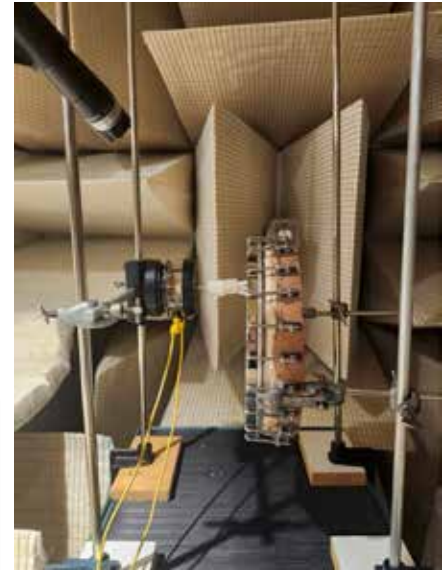


Figure 2 : Le montage réalisé pour le test de la membrane numéro un. Source : Photo prise par notre équipe en avril 2026.

Nous avons aussi fait un test pour voir comment le son se propage autour de l'instrument. Nous avons découvert que celui-ci sonne mieux de devant et de derrière, car, dans ces directions, nous sommes directement face à l'oscillation de la membrane. Les côtés sont faits de bois, qui ne transmet pas aussi bien ses vibrations à l'air environnant. Pour prendre ces mesures, nous avons choisi un ton qui résonnait fortement et nous avons fait tourner le micro de manière circulaire autour de la caisse de résonance.

Les cordes, génératrices de notes (1)

Les cordes du banjo jouent aussi un rôle important, car ce sont elles qui produisent les notes musicales. En agitant, à différentes fréquences, la plus grosse corde tendue par une masse de 7 kg, soit une tension habituelle pour celle-ci, nous avons remarqué qu'elle vibrait très fortement à certaines fréquences spécifiques. Plus précisément, cette corde aime beaucoup vibrer à 149 Hz, 297 Hz, 449 Hz et 598 Hz. Si nous pincions cette corde, elle émettrait une onde faite d'un mélange de ces fréquences dans l'air. Ces fréquences ne sont certainement pas déterminées au hasard ! En effet, on peut remarquer qu'elles sont très proches de 150 Hz, 300 Hz, 450 Hz et 600 Hz, qui ont tous

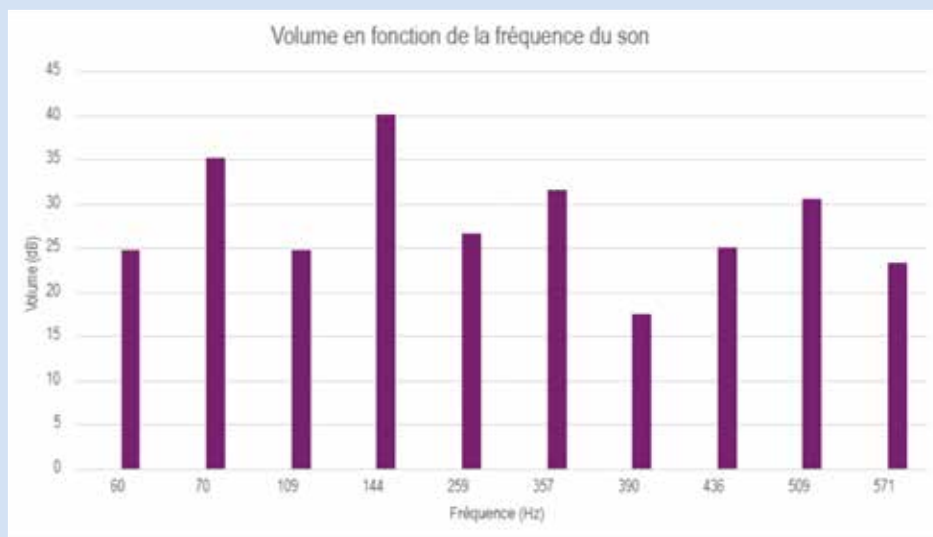


Figure 3 : Graphique montrant les volumes des différents modes avec leurs fréquences. Source : Photo prise par notre équipe en avril 2026.

le point commun d'être des multiples entiers de la plus basse fréquence de 150 Hz. En musique, on appelle une telle série de fréquences une *série harmonique*, et, lorsqu'une onde est composée de fréquences qui forment une série harmonique, l'oreille humaine perçoit une note bien définie plutôt que du bruit. Notre résultat prend donc tout son sens, puisque la série harmonique commençant par 150 Hz correspond à la note musicale Ré produite par cette corde du banjo.

Pour mieux comprendre la vibration d'une corde

Une corde sur un banjo est fixée à deux endroits, soit sur le chevalet et le sillet, qui déterminent l'échelle de l'instrument. Lorsqu'on agite la corde, l'énergie qu'on lui transfère se propage le long de celle-ci et revient lorsqu'elle atteint les extrémités. En l'agitant à répétitions, on constate que les vagues s'additionnent pour former une nouvelle forme. En physique, on appelle ce phénomène la *superposition*.

Qu'est-ce qu'un mode de résonance, au juste ?

Une corde a des fréquences auxquelles elle réagit beaucoup plus. On les appelle des *modes de résonance*. Quand on transmet de l'énergie à la corde en la pinçant, on transmet de l'énergie dans ces modes, ce qui la fait vibrer dans un mélange de ces fréquences particulières. Une des particularités des cordes est que leurs modes suivent une série harmonique, ce qui fait qu'agiter une corde produit une note musicale. Sur un banjo, la corde est reliée à la membrane par le

chevalet, donc elle lui « envoie » la note de musique. Ces modes de résonance ne sont pas l'apanage des cordes et des instruments de musique ; tous les objets vibrent à des fréquences qui leur sont propres. Cependant, calculer ces fréquences nécessite des connaissances mathématiques très avancées.

Et la membrane, elle vibre comment ? (2)

Dans notre cas, nous nous intéressons aux modes de résonance d'une membrane circulaire qu'on retrouve, entre autres, sur les banjos et les tambours. Bien que cela puisse paraître intimidant comme problème à résoudre, il est beaucoup plus simple de modéliser le fonctionnement d'une membrane circulaire qu'on pourrait le penser. En effet, une membrane n'est pas tellement différente d'un ensemble de cordes attachées à un anneau circulaire. Ainsi, lorsqu'on tape la membrane en son centre, c'est un peu comme si l'on agitait pleins de cordes dans toutes les directions. Vues de haut, les vagues sonores se propagent à travers la membrane un peu comme les vagues dans l'eau lorsqu'on y lance une roche. Les crêtes des modes de résonance pour une membrane apparaissent donc comme des anneaux autour du centre (figure 3).

En termes mathématiques, nous avons décrit les modes de résonance selon la distance par rapport au centre, soit le rayon. Imaginons que nous soyons tout petits et situés au centre de la membrane pendant qu'elle vibre ; que verrions-nous si nous tournions sur nous-mêmes ? En fait, nous observerions un motif de

vagues qui montent et descendent. On trouverait donc des creux et des crêtes séparés par des lignes droites sur la membrane. En combinant le tout, on comprendrait que les différents modes de résonance de la membrane apparaissent sous forme de motifs combinant des crêtes circulaires autour du centre et des lignes qui « découpent » la membrane en sections.

Que se passe-t-il dans la caisse de résonance et pourquoi un banjo sonne-t-il comme ça ? (3)

L'air à l'intérieur de la caisse de résonance a des fréquences de résonance lui aussi ! En effet, tous les composants du banjo ont des fréquences auxquelles ils ont envie de vibrer et, lorsqu'on les combine, on obtient un objet qui va vouloir vibrer plus fort dans des fréquences précises et c'est justement ça qui distingue les instruments de musique les uns des autres. Un piano ne va pas vouloir vibrer aux mêmes fréquences qu'une guitare, une trompette ou un banjo, d'où la différence entre leurs sons respectifs.

La musique agrmente une grande partie de nos vies ; malgré cela, très peu de gens sont conscients de la complexité de la science qui se cache derrière les sons les plus simples. La musique est beaucoup plus complexe que ce que l'ouïe humaine perçoit et cache de nombreux concepts physiques et mathématiques. À mesure que la science progresse, elle nous permet d'explorer encore plus les liens entre les vibrations et la perception, ouvrant la voie à de nouvelles façons de comprendre et de créer la musique.

Références bibliographiques :

1. Bennett WR. The Science of Musical Sound: Volume 1 : Stringed Instruments, Pipe Organs, and the Human Voice [En ligne]. Morrison ACH, rédacteur. Cham : Springer International Publishing ; 2018 [cité le 5 févr 2026]. Disponible : <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-92796-1>
2. Riley K, Hobson M, Bence S. Mathematical methods for physics and engineering. Third édition. University of Cambridge : University of Cambridge;
3. Berg RE, Stork DG. The physics of sound. 3 rd ed. Upper Saddle River, N.J : Pearson Prentice-Hall ; 2005. 398 p.

LES OCÉANS, UNE LIMONADE GÉANTE

PAR LILY COTTIN, LAURIANNE ROUSSEAU ET KATHERYNE BRAZEAU

Dans tous les océans du monde, l'acidification des eaux causée par les activités humaines est pointée du doigt pour expliquer la chute du nombre d'individus des homards et des huîtres depuis la fin des années 1980.

Imaginez-vous à la plage. C'est une journée chaude et ensoleillée, vous décidez donc de faire une trempette dans l'océan. Submergé(e) dans l'eau, vous remarquez assez rapidement que... ouch ! elle brule ! Ce n'est pas qu'elle est trop chaude, ne vous trompez pas, mais elle irrite votre peau ! Mais ce n'est que de l'eau, pas de l'acide, voyons ! Heureusement, vous en sortez assez vite et sans blessures. Toutefois, l'expérience était loin d'être agréable ! Seriez-vous capable de vivre dans ces conditions ? Non ? Pourtant, la situation décrite est exactement celle des homards et des huîtres, outre le fait qu'ils ne peuvent pas simplement choisir d'en sortir. Vous êtes chanceux(-euse) ; ces espèces ne le sont pas.

À la suite d'une expérience que nous avons menée, nous avons remarqué que plus l'eau est acide, plus elle nuit à certaines espèces qui y vivent. Pour démontrer ceci, nous avons effectué des expériences sur une carapace de homard et des coquilles d'huître, deux animaux du fleuve Saint-Laurent. Les coquilles sont principalement composées de carbonate de calcium, tandis que les carapaces contiennent cette substance en plus de chitine. Malheureusement, ces deux matières réagissent facilement aux acides ; elles tendent à s'y décomposer et à s'y dissoudre. Notre objectif consistait à

observer la réalisation de ce phénomène sur nos échantillons.

Au fil du temps, nous observons une augmentation de l'acidité de nos eaux. Cette hausse est causée par l'activité humaine, comme si l'on ajoutait plus de citron à une limonade que ce que la recette recommande ! Afin de découvrir les conséquences de l'acidification sur nos espèces choisies, nous avons baigné, durant plusieurs semaines, nos coquilles d'huîtres et notre carapace de homard dans des solutions qui diffèrent par leur niveau de pH. Les différents *potentiels hydrogène* (pH) ont précisément été choisis en fonction du pH normal du

(figure 1) que les homards (figure 2). En effet, bien que la masse de nos morceaux de carapace de homard ait légèrement diminué au cours des semaines, nous avons constaté une plus grande érosion sur les coquilles d'huîtres. Aussi, celles-ci créaient beaucoup de dépôts de coquilles dans les béciers des solutions les plus acides, démontrant une plus grande perte de masse.

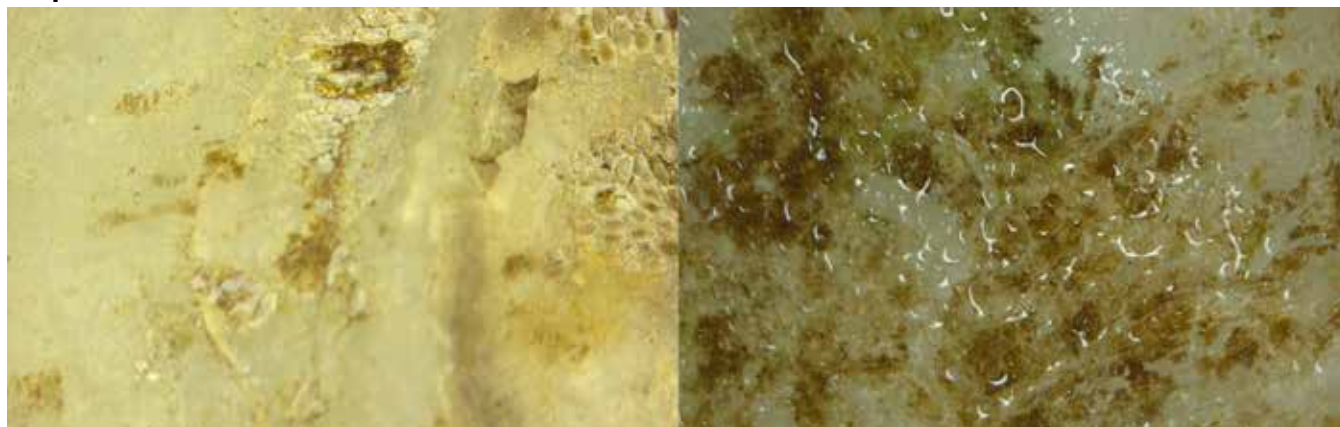
La diète malsaine des eaux

Comment est-ce possible que notre eau devienne plus acide ? Car non, on n'y ajoute pas réellement du citron ! En fait, c'est du dioxyde de carbone (CO_2) que nous lui ajoutons et qui cause ce problème. Ce n'est pas un secret que l'activité humaine émet beaucoup de gaz à effet de serre. Conduite de véhicules à essence, déforestation... bref, on sait qu'on pollue ! Et depuis l'industrialisation, la concentration du CO_2 dans notre air a monté en flèche ! Comment cela affecte-t-il les océans ? L'atmosphère et l'hydrosphère, contenant l'entièreté de l'eau de notre Terre, se sont toujours échangé des gaz, incluant les gaz carbonés. Autrefois, cet échange se produisait de manière équilibrée, alors que le dioxyde de carbone absorbé par les océans équivalait à celui qu'ils expulsaient. Aujourd'hui, afin de garder cet équilibre, nos eaux absorbent plus de CO_2 venant de notre atmosphère polluée. Absorber trop de dioxyde de

Effectivement, cela signifie qu'entre 1930 et 2023, l'acidité du fleuve a augmenté de 100 à 150 %.

fleuve Saint-Laurent, son pH actuel et des pH pouvant représenter les données du futur si la situation continue à empirer. Au total, six niveaux d'acidité ont été utilisés dans notre expérience. Comme prédit, nous avons observé des effets négatifs sur nos échantillons plus acides. Remarque intéressante : les huîtres ont moins bien résisté aux solutions acides

Coquille d'huître



Avant

Après

Figure 1 : La différence entre une coquille d'huître avant et après avoir été trempée quatre semaines dans une solution acide. Images prises lors de l'expérience de Lily Cottin, Laurianne Rousseau et Katherlyne Brazeau. 2026.

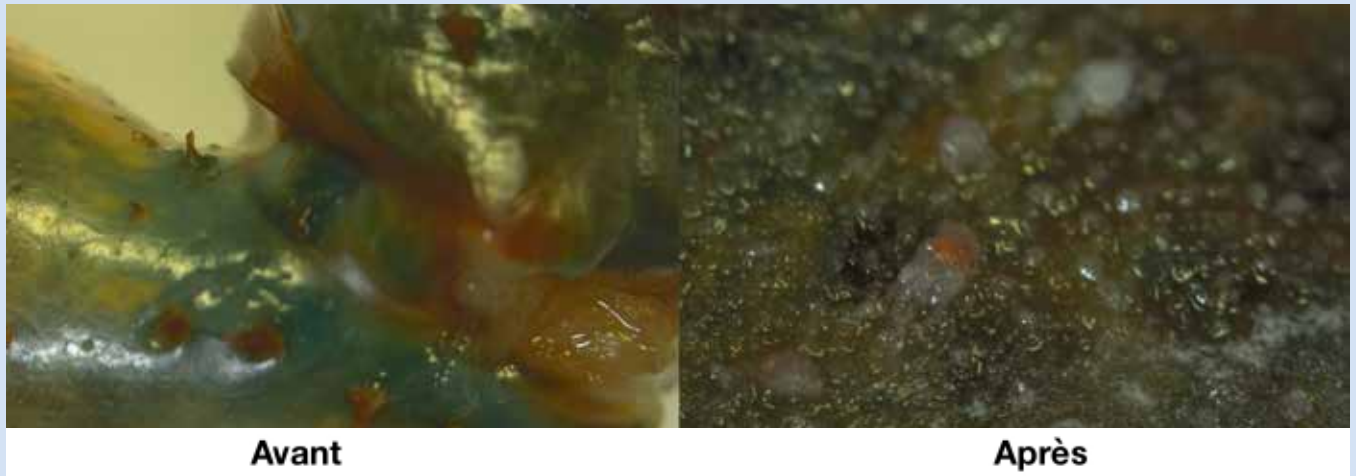


Figure 2 : La différence entre une patte de homard avant et après avoir été trempée quatre semaines dans une solution acide. Images prises lors de l'expérience de Lily Cottin, Laurianne Rousseau et Katheryne Brazeau. 2026.

carbone pour les océans est semblable à manger trop de « fast food » : c'est malsain ! En effet, lorsque ce gaz est dissout dans l'eau, on obtient des particules acides, nommées H^+ . Celles-ci vont diminuer le pH du milieu aquatique. Les données sur le fleuve Saint-Laurent nous informent qu'avant la révolution industrielle, son pH était de 7,80. De nos jours, il est de 7,50. Cet écart semble petit, mais est plutôt énorme dans le monde du pH. Effectivement, cela signifie qu'entre 1930 et 2023, l'acidité du fleuve a augmenté de 100 à 150 % (1). De plus, les statistiques indiquent que le pH de ce dernier continuera de diminuer de 0,028 chaque décennie (2). Encore une fois, il ne faut pas être piégé par les petits chiffres ! Même si cette acidification est lente, elle est présente et crée de graves difficultés pour la survie de nos bêtes marines. Ce ne sont pas seulement les homards et les huîtres qui sont affectés par ce changement de milieu, donc n'essayez pas de justifier la situation en vous disant « Ben moi, je n'aime pas ça les fruits de mer ! ». D'abord, laisser ces espèces mourir n'est pas une excuse. Ensuite, ce sont des écosystèmes entiers qui se retrouvent en péril !

« L'homard » (la mort) des fruits de mer

Si l'on ne fait rien pour ralentir la hausse d'acidité dans les océans, ça va « huître » (vite) mal aller. À vrai dire, tout le *jus de*

citron dans les océans affecte surtout les larves des homards (2), encore trop fragiles pour s'en protéger, ainsi que la coquille des huîtres, ce qui augmente leur risque de mourir. Si les homards et les huîtres connaissent une diminution de leurs populations, cela a un impact significatif pour toutes les espèces marines. En effet, les populations d'espèces normalement mangées par les huîtres et les homards augmentent, alors que le nombre d'individus des espèces qui se nourrissent des homards et des huîtres diminue à cause du manque de nourriture. C'est ce qu'on appelle la *cascade trophique*. On pense que cela ne nous affecte pas directement. Cependant, cela nous touche plus que nous pouvons l'imaginer. Comme on peut le voir sur la figure 3, les homards et les huîtres partagent des prédateurs communs, qui sont aussi des espèces que nous mangeons. Par conséquent, l'humain perd plusieurs différentes sources alimentaires en raison du déclin des huîtres et des homards, et les travailleur(-euse)s procurant cette nourriture, les pêcheur(-euse)s, perdent leur source de revenus. Il faut donc se le dire, toute la faune (animaux) et la flore (végétations) sont liées par la chaîne alimentaire. Dans ce cas, le résultat de la perte de la biodiversité marine aurait éventuellement un impact sur tout l'écosystème planétaire. Mais est-ce vraiment ce que l'on veut ?

Sous l'océan... ça pourrait mieux aller

Ça prendra bien du temps avant que nos cours d'eau soient tellement acides qu'ils nous brûlent la peau. Par exemple, selon les statistiques, le pH de notre cher fleuve Saint-Laurent n'atteindra une valeur de 6,00 qu'en 2570, et ce n'est même pas une valeur dangereuse pour l'humain ! Toutefois, même si nous sommes actuellement épargnés, les conséquences sur les espèces étudiées et leur écosystème sont bien présentes aujourd'hui. C'est triste, oui, mais elles ne disparaîtront pas du jour au lendemain ! Il n'est donc pas trop tard pour diminuer nos émissions de gaz à effet de serre afin de sauver notre hydrosphère !

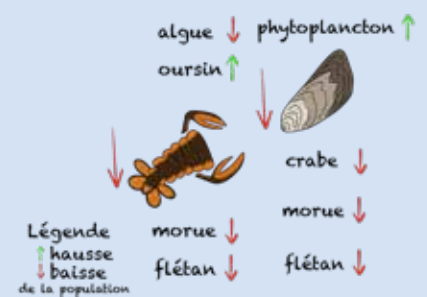


Figure 3 : La représentation schématique de la cascade trophique reliée à la baisse du nombre d'individus des huîtres et des homards, dessinée par Katheryne Brazeau avec l'application Procreate. Source principale : Fourchette bleue (3).

Références bibliographiques :

1. Lizotte M, Blais M. [En ligne]. Désoxygénation et acidification dans l'estuaire du Saint-Laurent ; 17 déc 2025 [cité le 3 févr 2026]. Disponible : <https://www.canada.ca/fr/agence-eau-canada/initiatives-ecosystemes-eau-douce/fleuve-saint-laurent/publications/desoxygenation-acidification-estuaire-saint-laurent.html#toc6>
2. Radio-Canada [En ligne]. Un modèle pour prédire l'avenir des espèces du Saint-Laurent ; 4 janv 2024 [cité le 22 avr 2026]. Disponible : <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/2035898/acidification-saint-laurent-survie-especes>
3. Fourchette bleue [En ligne]. Exploramer. Les espèces du Saint-Laurent | Huître ; 2023 [cité le 13 avr 2026]. Disponible : <https://fourchettebleue.ca/produits/huître/>

DES MICROPLASTIQUES DANS L'EAU : UN PROBLÈME INVISIBLE QUI NOUS TOUCHE TOUS

PAR LAYAN ABDALLA, ALISA ISLAM, OCÉANE AÏDA KONE

Des particules invisibles issues du plastique contaminent nos eaux partout au Canada, affectent les organismes aquatiques et pourraient menacer toute la chaîne alimentaire, jusqu'à l'humain.

Un danger qu'on ne voit pas

On a tendance à croire que le plastique qu'on jette disparaît dans les centres de traitement des déchets. Pourtant, une grande partie échappe à ce système. Avec le temps, les objets en plastique se fragmentent en particules de plus en plus petites jusqu'à devenir invisibles à l'œil nu : ce sont les microplastiques. Aujourd'hui, on en retrouve dans presque tous les milieux aquatiques, que ce soit dans les lacs, les rivières et même dans l'eau potable (1).

Le problème est que ces particules ne se décomposent pas facilement. Elles persistent dans l'environnement pendant des dizaines, voire des centaines d'années. Certaines, comme le polypropylène, sont assez légères pour flotter et rester en suspension dans l'eau (2). Cela augmente leur dispersion et le nombre de leurs interactions avec les organismes aquatiques, qui peuvent les confondre avec de la nourriture. Les microplastiques ne viennent pas seulement des gros objets qu'on jette. Ils se forment aussi directement à partir de notre quotidien. Par exemple, les vêtements synthétiques en polyester libèrent de minuscules fibres lorsqu'ils sont lavés. Les pneus de voiture s'usent aussi sur les routes et relâchent de petites particules dans l'environnement. Même certains produits cosmétiques peuvent contenir des microplastiques. Tous ces éléments finissent par être transportés par l'eau de pluie et se retrouvent dans les rivières, puis dans les lacs et les océans.

Les microplastiques : des intrus dans la chaîne alimentaire

Les microplastiques ne sont pas seulement présents dans l'eau, ils entrent directement dans la chaîne alimentaire. Leur petite taille leur permet d'être ingérés par des organismes minuscules, situés à la base des écosystèmes aquatiques (figure 1). C'est là que le problème devient plus sérieux : ces particules peuvent se transférer d'un organisme à un autre. Ainsi, ce qui commence comme une contamination invisible dans l'eau

peut remonter progressivement jusqu'aux poissons, puis potentiellement jusqu'aux humains. Ce phénomène est particulièrement préoccupant, car plus une particule est petite, plus elle est facilement ingérée par les organismes vivants. Contrairement aux déchets visibles, les microplastiques ne sont pas évités par les animaux.

Ainsi, un problème invisible dans l'eau peut finir par toucher des espèces de plus grande taille, dont l'humain, en fin de compte.

Ils sont confondus avec de la nourriture, ce qui favorise leur entrée dans les réseaux alimentaires aquatiques. Cela rend leur impact difficile à détecter immédiatement, mais potentiellement très important à long terme.

Une petite espèce au cœur du problème : la daphnie

Parmi les organismes les plus touchés se trouve la daphnie (figure 2). Ce petit macro-invertébré d'eau douce est difficilement visible à l'œil nu, mais il joue un rôle essentiel dans les écosystèmes aquatiques. Il constitue une source de nourriture importante pour plusieurs espèces de poissons. Le problème est que la daphnie ne fait pas la différence entre la nourriture et les microplastiques. Elle les ingère accidentellement en filtrant l'eau pour se nourrir. Les effets de cette ingestion sont bien documentés. Les daphnies exposées aux microplastiques présentent une augmentation de leur mortalité ainsi qu'une baisse de leur capacité de reproduction (3). À long terme, cela peut entraîner une diminution de leur population. Cette situation est préoccupante, car une baisse de la population de daphnies affecte directement les poissons qui s'en nourrissent. Cela peut donc provoquer un déséquilibre dans toute la chaîne alimentaire. Ce déséquilibre peut aussi avoir un effet en cascade sur les autres espèces. Quand une population diminue, les espèces qui en dépendent doivent s'adapter, migrer ou changer de source de

nourriture. Cela peut modifier la structure complète d'un écosystème aquatique, parfois de façon difficile à renverser. Même de petits changements à la base de la chaîne alimentaire peuvent entraîner des conséquences importantes sur toute la biodiversité de l'écosystème.



Figure 2 : Observation microscopique d'une daphnie (*Daphnia magna*), montrant le contenu digestif (zones verdâtres) et des œufs en développement. Source : Abdalla L, Kone AO, Islam A. Observation microscopique d'une daphnie (*Daphnia magna*), montrant le contenu digestif (zones verdâtres) et des œufs en développement [photographie prise avec une caméra montée sur un microscope optique]. 2026.

Un impact qui se propage dans tout l'écosystème

Même si les microplastiques sont minuscules, leurs effets peuvent être très grands. Ils ne restent pas limités à un seul organisme ; ils circulent dans tout l'écosystème. Lorsqu'un poisson consomme plusieurs daphnies contaminées, les microplastiques peuvent s'accumuler dans son organisme. Ce phénomène, appelé *bioaccumulation*, augmente le risque que ces particules remontent encore plus loin dans la chaîne alimentaire.

Ainsi, un problème invisible dans l'eau peut finir par toucher des espèces de plus grande taille, dont l'humain, en fin de compte. Dans certains cas, les microplastiques peuvent aussi transporter d'autres substances toxiques. En effet, leur surface peut attirer et accumuler des polluants présents dans l'eau. Cela signifie qu'en plus du plastique lui-même,



Figure 1 : Méduse flottant dans un milieu contaminé par des microplastiques. Source : Bostanova N. Méduse flottant au milieu de débris océaniques [Pexels en ligne], 2025. Disponible : <https://www.pexels.com/fr-fr/photo/meduses-flottant-au-milieu-des-debris-oceaniques-34378443/>

des produits chimiques potentiellement dangereux peuvent aussi être ingérés par les organismes. Ce phénomène augmente encore les risques pour la faune aquatique.

Une solution possible : les gels capables de capturer les microplastiques

Confronté(e)s à ce problème, les scientifiques cherchent des solutions pour retirer les microplastiques de l'environnement. Cependant, leur très petite taille rend leur filtration difficile. Une piste prometteuse consiste à utiliser des gels naturels. L'agar, l'ingrédient principal de ces gels, est une substance extraite d'algues qui devient solide lorsqu'elle refroidit. Sa structure forme un réseau très fin, un peu comme un filet microscopique. L'idée est simple : lorsque les microplastiques passent dans l'eau, ils peuvent se coincer dans ce réseau ou s'y accrocher. Il ne s'agit pas d'une réaction chimique, mais plutôt d'un piégeage physique.

Les microplastiques ont aussi tendance à adhérer à certaines surfaces plutôt que de rester complètement dispersés dans l'eau. Cela pourrait rendre les gels encore plus efficaces pour les capturer. D'autres matériaux similaires existent, comme l'alginate, qui nécessite du calcium pour former un gel (figure 3). Ces différentes options sont étudiées pour améliorer la capture des particules plastiques dans l'eau. Ce type de recherche est encore en développement, mais il suscite beaucoup d'intérêt parce qu'il utilise des matériaux

naturels et relativement peu coûteux. Contrairement à certaines technologies industrielles complexes, ces gels pourraient être fabriqués à partir de ressources renouvelables, ce qui les rend intéressants dans une approche environnementale durable.



Figure 3 : Billes d'alginate formées par réaction entre alginate de sodium et ions calcium. Source : Abdalla L, Kone AO, Islam A. Billes d'alginate formées par réaction entre alginate de sodium et ions calcium [photographie prise avec un téléphone intelligent]. 2026

Des limites importantes et une responsabilité humaine

Même si ces solutions sont prometteuses, elles ne sont pas parfaites. Il reste encore plusieurs questions importantes : peut-on utiliser ces gels à grande échelle dans les lacs et les rivières ? Sont-ils assez efficaces dans des conditions réelles ?

De plus, ces technologies ne traitent pas la source du problème. Les microplastiques proviennent principalement de l'activité humaine : dégradation des déchets, usage excessif du plastique, vêtements synthétiques, emballages, etc. Ainsi, même si des solutions techniques peuvent aider, elles ne suffisent pas à elles seules. La réduction du plastique à

la source reste essentielle. Cela passe par une meilleure gestion des déchets, la réduction de la consommation de plastique et le recyclage.

Cependant, même si ces innovations scientifiques sont prometteuses, elles ne remplacent pas la nécessité d'agir à la source du problème. Les technologies peuvent aider à réduire la pollution déjà présente, mais elles ne peuvent pas empêcher la production continue de nouveaux microplastiques. À long terme, cette problématique souligne aussi la nécessité de mieux comprendre le comportement des microplastiques dans différents environnements, car leurs effets peuvent varier selon les conditions physiques et chimiques de l'eau, comme la température, le courant ou le pH.

Un problème invisible, mais une responsabilité bien réelle

Les microplastiques sont quasiment invisibles à l'œil nu, mais leurs effets sont bien réels et mesurables. Ils perturbent les écosystèmes aquatiques, affectent les animaux et pourraient éventuellement avoir un impact sur la santé humaine. La science propose des solutions innovantes, mais la responsabilité repose aussi sur nos choix quotidiens. La vraie question est donc simple : continuerons-nous à produire du plastique au point de saturer nos environnements... ou agissons-nous avant que les conséquences deviennent irréversibles ?

Références bibliographiques :

1. Andrady AL. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* [En ligne]. Aout 2011 [cité le 14 avr 2026] ; 62(8) : 1596605. Disponible : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X11003055>
2. Cole M, Lindeque P, Halsband C, Galloway TS. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin* [En ligne]. 1 déc 2011 [cité le 14 avr 2026] ; 62(12) : 258897. Disponible : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X11005133>
3. Guilhermino L, Martins A, Cunha S, Fernandes JO. Long-term adverse effects of microplastics on *Daphnia magna* reproduction and population growth rate at increased water temperature and light intensity: Combined effects of stressors and interactions. *Science of The Total Environment* [En ligne]. 25 aout 2021 [cité le 15 avr 2026] ; 784:147082. Disponible : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721021525>



FINISSANT(E)S EN SCIENCES DE LA ET LEURS PROJ



NATURE DU CÉGEP DE VALLEYFIELD

PROFESSEUR(E)S

CAFÉINE : MODE D'EMPLOI POUR ÉTUDIANTS FATIGUÉS

PAR VINCENT BEAUVILLIERS, ÉLIA BOURDEAU, DANIK LAFLAMME ET GUILLAUME POIRIER

Tu as de longues soirées d'études à faire avant un examen ou de la difficulté à rester attentif(-ve) en classe ? La solution miracle : la caféine ?

En réalité, est-ce que les étudiant(e)s ont vraiment tendance à utiliser la caféine régulièrement ? Selon notre sondage réalisé auprès de 476 étudiant(e)s du Cégep de Valleyfield, environ 80 % consomment de la caféine quotidiennement (figure 1). Il est donc évident que la plupart ne sont pas contre l'idée d'un petit café ou d'une boisson énergisante pour passer à travers leurs longues journées. Maintenant, la question qui s'impose : est-ce que les étudiant(e)s sont bien conscient(e)s des effets de la caféine sur leur corps et leur santé ? Afin de trouver la réponse à cette question, nous leur avons demandé à partir de combien de milligrammes (mg) de caféine consommée dans une journée on peut commencer à voir apparaître des effets nocifs pour la santé (figure 2).

En fait, selon Santé Canada, il n'est pas recommandé de consommer plus de 400 mg de caféine par jour, ce qui correspond à environ 4 tasses de café filtre (1). Lorsqu'on compare les deux tableaux, on peut en déduire que, bien que la majorité des étudiant(e)s ne semble pas savoir où se situe la limite, très peu la dépassent. Afin de remédier à ce manque de connaissances sur la caféine, nous vous présentons ici la vérité sur les mythes les plus courants qui l'entourent ainsi que ses effets sur le corps. Vous saurez ainsi ce qui se passe réellement lorsque vous buvez un café ou une boisson énergisante.

Un café pour se remonter

Les matins sont difficiles ? La longueur des cours de français vous exaspère ? C'est à ces moments-là qu'une petite voix vous dit : « Un café ou une boisson

La caféine n'est ni un ennemi ni une solution miracle. Elle peut être utile, à condition d'en faire un usage modéré et conscient.

énergisante pour un petit "boost", ça ferait du bien ». Mais est-ce que la caféine nous donne vraiment de l'énergie ? Avant de décrire comment fonctionne la caféine, il est important de comprendre certains concepts sur la fatigue. Au fil de la journée, une molécule s'accumule dans notre sang. Cette molécule, nommée *l'adénosine*, est un neurotransmetteur en partie responsable du sentiment de fatigue. Concrètement, on ressent la fatigue lorsque l'adénosine vient se lier à son récepteur dans notre cerveau. Il faut voir les neurotransmetteurs comme des messagers et les récepteurs comme étant ce qui capte le message pour l'envoyer au cerveau.

Lorsqu'on boit un café ou une boisson énergisante, la caféine agit comme un imposteur qui vient prendre la place de l'adénosine sur le récepteur, ce qui

empêche le récepteur de recevoir le signal de fatigue (2). Bien qu'on ressente momentanément moins la fatigue, l'adénosine ne disparaît pas comme par magie, elle attend simplement son tour et continue de s'accumuler dans le sang. Lorsque la caféine ne fait plus effet sur le récepteur, l'adénosine peut reprendre sa place et notre cerveau reçoit tout d'un coup beaucoup de signaux de fatigue : c'est le « crash ». Alors, la question se pose : vaut-il vraiment la peine de bloquer ses signaux de fatigue pour les ressentir beaucoup plus fortement quelques heures plus tard ? La réponse à cette question est personnelle à chacun, donc à vous de faire vos propres déductions.

Boire du concentré, devenir concentré ?

Il est facile de croire qu'un bon café avant d'étudier règle tous nos problèmes et nous rend immédiatement plus concentrés. Pourtant, les chercheurs(-euse)s ne s'entendent pas sur l'effet réel de la caféine : rend-elle vraiment le cerveau plus performant ou enlève-t-elle simplement les symptômes de fatigue ?

Il est vrai que la caféine augmente l'état d'éveil et de vigilance puisque nous ressentons moins la fatigue. Elle permet souvent de rester concentré plus longtemps sur une tâche et d'avoir un meilleur temps de réaction. Avant d'en conclure qu'il

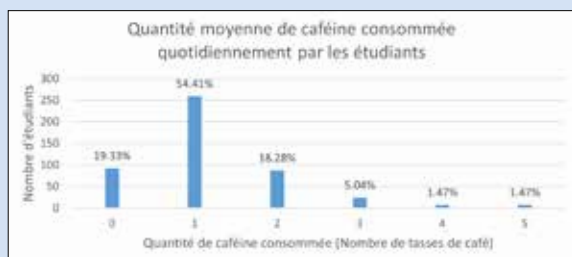


Figure 1 : Graphique de la quantité de caféine consommée quotidiennement par les étudiants. Source : Poirier G, Laflamme D, Bourdeau E, Beauvilliers V. Quantité de caféine consommée quotidiennement par les étudiants [Graphique créé à l'aide d'Excel]. 2026.

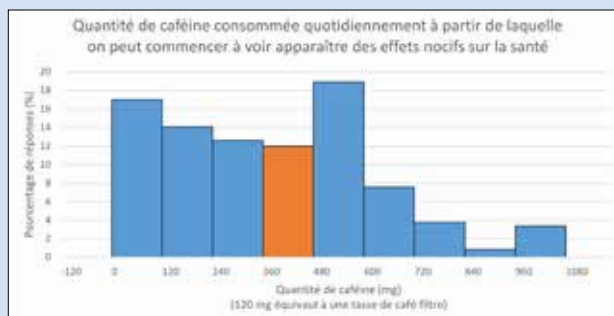


Figure 2 : Graphique des réponses des étudiants sur la quantité de caféine consommée quotidiennement à partir de laquelle on peut commencer à voir apparaître des effets nocifs sur la santé. Source : Poirier G, Laflamme D, Bourdeau E, Beauvilliers V. Réponses des étudiants sur la quantité de caféine consommée quotidiennement à partir de laquelle on peut commencer à voir apparaître des effets nocifs sur la santé [Graphique créé à l'aide d'Excel]. 2026.

s'agit de la solution parfaite, il faut savoir que la caféine est surtout utile lorsque nous voulons être moins fatigué(e)s, mais elle ne remplace pas une bonne nuit de sommeil. De plus, la caféine étant un stimulant, elle accélère l'activité électrique dans le cerveau. Cela fait en sorte qu'avec un seul café, certaines performances cognitives, comme l'efficacité du cerveau à traiter l'information, peuvent être améliorées jusqu'à 10 heures d'affilée.

Mais ATTENTION ! Comme le dit le dicton : « Trop, c'est comme pas assez ». Prendre trop de caféine peut nous rendre plus anxieux, plus distraits et plus agités. Le cerveau a ses limites ! Lorsqu'on exagère, les effets positifs disparaissent rapidement pour laisser place à des effets nuisibles. Une fois trop anxieux, il peut être assez difficile de se concentrer et de bien performer.

Un coup de cœur pour la caféine

Avez-vous déjà consommé une grande quantité de caféine et commencé à sentir votre cœur battre plus vite ? Il est vrai qu'une consommation élevée de caféine augmente la force et la rapidité des contractions du muscle cardiaque. Par exemple, boire entre 4 et 7 tasses de café peut faire augmenter la fréquence cardiaque au repos. C'est pour cette raison qu'il faut être conscient(e) de sa consommation, afin d'éviter ces effets indésirables et désagréables.

Cependant, cela ne signifie pas que la caféine cause directement des problèmes cardiovasculaires à long terme. C'est principalement chez les personnes qui ont déjà des problèmes cardiaques qu'une forte consommation de caféine peut aggraver leur état. La caféine entraîne une augmentation temporaire de la pression artérielle, ce qui peut être un problème chez les individus qui souffrent d'hypertension, puisqu'ils ont déjà une pression plus haute que la normale.

De façon plus surprenante, plusieurs études récentes montrent aussi que la consommation régulière et modérée de caféine est associée à une diminution du risque de développer certaines maladies neurodégénératives, comme celles d'Alzheimer et de Parkinson, ainsi que de

certains cancers, notamment celui du foie. Ces effets seraient liés, entre autres, aux propriétés antioxydantes de la caféine. Donc, oui, un café peut faire du bien, mais inutile de vider la cafetière !

Je bois un café, j'en évacue deux...

Avez-vous déjà entendu dire que la caféine fait énormément augmenter l'envie d'uriner ? Ou pire, l'avez-vous déjà vécu, en plein examen, une envie pressante après votre café du matin ?

Cette idée n'est pas complètement fausse, mais ce n'est pas aussi simple qu'on le pense. Il est vrai que la caféine possède un effet diurétique, ce qui signifie qu'elle augmente la quantité d'urine produite. Comment ce phénomène se produit-il ? Certains récepteurs de la molécule d'adénosine se trouvent dans nos reins, qui sont responsables de la filtration de notre sang et de la production de l'urine. La molécule de caféine, en interférant avec les récepteurs de l'adénosine, vient augmenter le débit de sang qui est filtré en urine, provoquant alors la hausse de la production d'urine. Cet effet diurétique est cependant assez léger chez la majorité des gens et il ne contribue pas à la déshydratation, comme certaines personnes pourraient le penser.

Accro au café ?

Vous avez peut-être déjà entendu quelqu'un dire qu'il est accro à la caféine, qu'il lui faut absolument son café le matin ? En fait, les diagnostics de dépendance à la caféine sont très rares. Bien que la caféine soit une drogue, elle n'est pas à caractère addictif, elle ne pousse pas la personne qui la consomme à en abuser jusqu'à ce qu'elle subisse des conséquences graves. La plupart de ces personnes qui consomment régulièrement de la caféine sont satisfaites avec une quantité raisonnable, entre une et trois tasses de café, qui n'a aucun impact négatif sur leur santé physique ou mentale.

Depuis 2013 seulement, le sevrage de caféine est reconnu comme un diagnostic possible selon certains critères qui incluent des maux de tête, de la fatigue, des étourdissements, de l'irritabilité et



Figure 3 : Image de grains de café. Source : 8photo. Dark coffee beans bowl brown table [FreePi en ligne]. 2020. Disponible : Dark coffee beans in a bowl on a brown table | Free Photo

de la difficulté à se concentrer (3). Donc, bien qu'on ne puisse pas devenir accro à la caféine, il faut tout de même s'en méfier.

Tout compte fait, une consommation régulière de caféine peut mener à une augmentation de la quantité de récepteurs d'adénosine dans le cerveau. Cela fait en sorte qu'une personne ressent plus la fatigue lorsqu'elle n'a pas pris de café. Elle doit donc prendre sa dose quotidienne de caféine pour retourner à la normale. Si notre corps est trop habitué à la caféine, nous ne pouvons pas nous permettre de nous en passer à moins d'être prêt(e)s à en subir les conséquences. À partir de ce moment-là, serait-il temps de considérer un sevrage ? La caféine n'est ni un ennemi ni une solution miracle. Elle peut être utile, à condition d'en faire un usage modéré et conscient. Comme pour bien des choses, tout est une question d'équilibre.

Références bibliographiques :

1. Santé Canada [En ligne]. La caféine dans les aliments ; 2 avr 2025 [cité le 11 févr 2026]. Disponible : <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/aliments-nutrition/salubrite-aliments/additifs-alimentaires/cafeine-aliments.html>
2. Reichert CF, Deboer T, Landolt H. Adenosine, caffeine, and sleep-wake regulation: state of the science and perspectives. J Sleep Res [En ligne]. août 2022 [cité le 9 mars 2026] ; 31(4) : e13597. Disponible : <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9541543/>
3. Addicott MA. Caffeine Use Disorder : A Review of the Evidence and Future Implications. Curr Addict Rep [En ligne]. sept 2014 [cité le 9 avr 2026] ; 1(3) : 186-92. Disponible : <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4115451/>

COURIR AVEC UN MOTEUR EN PLUS : LE RÔLE DU PRÉ-WORKOUT

PAR MATHIS GODHUE, RAPHAËLLE TESSIER ET LAURENCE DESCHÊNES

Les suppléments « pré-workout » promettent énergie et puissance, mais, derrière leur arôme d'explosion de pêches ou de barbe à papa, se cachent des mécanismes physiologiques encore incompris.

Boire l'équivalent de cinq cafés noirs avant une activité sportive peut sembler extrême, pourtant c'est exactement ce qu'une portion de supplément de préentraînement contient. Palpitations, picotements et nervosité sont de mise, ce qui implique que le corps est face à une dose phénoménale de stimulants. En courant sur un tapis pendant 5 minutes seulement, avant et après la prise de ces suppléments, il est possible d'observer des variations qui en disent long sur les performances sportives des athlètes.

Caféine activée, fatigue retardée

Lors d'une course, maintenir un rythme rapide et constant dépend en grande partie de la façon dont le corps perçoit la fatigue. C'est ici que la caféine, l'ingrédient principal des suppléments de préentraînement, entre en jeu, en retardant la sensation d'épuisement, ce qui permet de soutenir un effort physique plus longtemps. Substance psychoactive la plus consommée au monde, elle agit sur le système nerveux dès les premières minutes suivant l'ingestion. La caféine commence à faire sa magie dans la barrière hématoencéphalique, la porte d'entrée des molécules dans le cerveau. Normalement, l'adénosine, une molécule naturellement produite par le corps, s'accumule dans le cerveau et déclenche la sensation de fatigue à mesure que la journée avance (figure 1). La caféine prend la place de l'adénosine sur ses récepteurs et empêche le signal de fatigue de passer, le cerveau ne perçoit donc plus l'épuisement et le corps reste en état d'alerte plus longtemps. En bloquant la fatigue, la caféine stimule aussi la libération de molécules comme la dopamine et la noradrénaline. La noradrénaline active le corps en augmentant la pression artérielle qui résulte de la constriction des vaisseaux sanguins. De plus, elle accélère le rythme cardiaque et la respiration, ce qui permet d'envoyer plus d'oxygène et de sang vers les muscles. La dopamine, quant à elle, influence la motivation, l'attention et la prise de décision. Elle contribue également à l'augmentation du rythme cardiaque, ce qui vient renforcer l'effet de

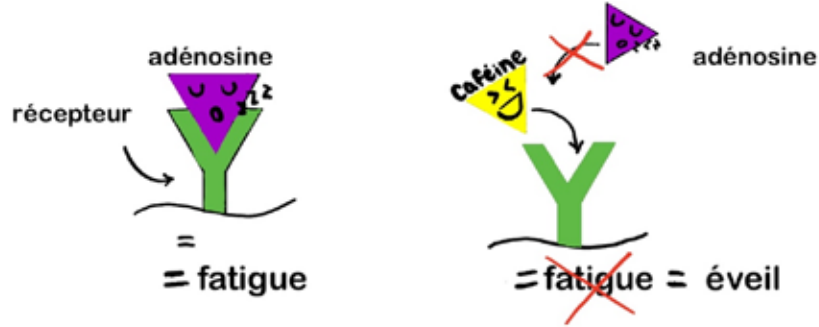


Figure 1 : Effets de la caféine sur les récepteurs du cerveau. Source : Lucriblog, Effets de la caféine sur les récepteurs du cerveau [dessin créé à l'aide du logiciel Notability]. 2026

la noradrénaline.

Une étude de l'université de Soonchunhyang, en Corée du Sud, montre que la caféine peut augmenter le VO_2 max lors d'un effort physique, soit la quantité maxima de l'oxygène que le corps peut utiliser par minute. Cet indicateur est essentiel pour la performance en course, puisqu'il permet de soutenir un rythme plus rapide et plus longtemps (1).

Alerte picotements : quand la peau s'active avant les muscles

Les suppléments de préentraînement sont souvent reconnus pour leur principal effet secondaire : les picotements. Mais ces fourmillements sont-ils vraiment normaux ? Eh bien oui ! Effectivement, les

Alors, concrètement, lors de notre expérimentation, la L-citrulline a certainement été un des facteurs qui nous a aidés à gagner la course contre la montre : la fatigue a pu être retardée pour tous et les membres de notre équipe ont pu ressentir un « boost » d'énergie !

utilisateurs du « pré-workout » ressentent fréquemment des picotements, souvent aux mains ou au visage, et bien qu'ils puissent paraître étranges, ils sont tout à fait normaux ! Cela s'explique par le fait que la bêta-alanine active une stimulation nerveuse temporaire, plus spécifiquement les récepteurs sensoriels cutanés. Outre cette sensation assez spéciale, la bêta-alanine présente dans les

suppléments de préentraînement agit directement sur notre corps pour « booster » nos performances. Cet acide aminé est composé d'une amine et d'un acide carboxylique, tous deux des groupements fonctionnels composant la molécule. C'est lui qui envoie le signal au corps de fabriquer une autre molécule qui, elle, aura une utilité plus significative. Effectivement, cet acide aminé est transporté par la circulation sanguine pour entrer dans nos muscles grâce à des transporteurs. Dans les cellules musculaires, la bêta-alanine se lie avec un autre acide aminé, l'histidine, pour former la carnosine. C'est la carnosine qui aura un effet direct sur la régulation du pH musculaire (2). Pour comprendre son effet sur le pH musculaire, il faut tout d'abord comprendre comment le pH fonctionne lors de l'activité physique. Lorsqu'on effectue un effort soutenu, des ions H^+ sont produits, ce qui rend le muscle plus acide. Il y a donc une baisse du pH qui provoque des sensations de brûlure musculaire et de fatigue. Cependant, la carnosine agit comme tampon chimique contre l'acidité se trouvant dans nos muscles : elle ralentit l'acidification en captant les ions H^+ . C'est donc un atout pour les performances sportives, puisque la fatigue musculaire est retardée et que l'effort peut être maintenu plus longtemps. Cet effet s'est d'ailleurs clairement fait ressentir lors de nos courses : l'intensité a pu être soutenue sur une plus longue durée et la sensation de fatigue musculaire dans les jambes était moins présente en fin d'effort. Il devient ainsi pertinent

d'intégrer la bêta-alanine dans un préentraînement, puisqu'elle contribue directement à améliorer la performance et à repousser les limites physiques en retardant l'apparition de la fatigue. Elle deviendra votre meilleure amie, une petite soldate cachée dans votre corps vous permettant de maximiser vos performances !

Boost d'énergie à profusion

La L-citrulline est un ingrédient essentiel des suppléments de préentraînement. Cet acide aminé est absorbé dans l'intestin et passe dans le sang, où il restera disponible dans la circulation sanguine. La L-citrulline est transformée en L-arginine dans notre corps, en particulier dans les reins, puis celle-ci produira ensuite du monoxyde d'azote. Cette molécule a un effet direct sur nos vaisseaux sanguins : il y a de la vasodilatation, ce qui entraîne un flux sanguin plus important, et donc plus d'oxygène et de nutriments sont acheminés vers nos muscles. En effet, le changement de pression artérielle est bien réel : une méta-analyse de PubMed démontre qu'il y a une baisse moyenne significative de la pression artérielle systolique d'environ 4,10 millimètres de mercure (mmHg) après la prise de L-citrulline (3). Conséquemment, une

meilleure performance et une endurance accrue pourront être livrées : le surplus d'oxygène rend la production d'énergie plus efficace, l'augmentation du flux sanguin fait en sorte que les déchets (comme les ions H⁺ mentionnés dans la section sur la bêta-alanine) s'éliminent plus rapidement, diminuant ou retardant la fatigue, et le surplus de nutriments permet une meilleure contraction musculaire. Alors, concrètement, lors de notre expérimentation, la L-citrulline a certainement été un des facteurs qui nous a aidés à gagner la course contre la montre : la fatigue a pu être retardée pour tous et les membres de notre équipe ont pu ressentir un « boost » d'énergie !

Un corps dopé à l'énergie : les statistiques parlent d'elles-mêmes

Ce n'est pas qu'un mythe : il y a de réels bénéfices quant aux performances sportives à la suite de la prise de suppléments de préentraînement. Chaque membre de l'équipe a pu sentir une différence lors de sa course avant et après la prise de ces suppléments, ce qui peut clairement être expliqué par les effets de chacun des ingrédients qui les composent et qui sont décrits dans cet article. Globalement, les suppléments

de préentraînement retardent la fatigue musculaire et donnent un « boost » d'énergie. Le tableau des résultats ci-contre (figure 2) confirme directement les effets escomptés : grâce aux sondes physiologiques, l'équipe complète a pu remarquer une augmentation du rythme cardiaque (moyen et maximal) ainsi qu'une augmentation de la fréquence respiratoire moyenne. D'une part, un rythme cardiaque plus élevé permet à notre corps de transporter les nutriments nécessaires plus rapidement, ce qui permet concrètement de maximiser les performances de course : les participant(e)s ont senti que l'effort était plus facile à maintenir sur une même durée. D'autre part, une fréquence respiratoire plus élevée augmente le VO₂ max, ce qui permet une meilleure endurance lors des courses. Finalement, les données sur la pression artérielle n'ont pas été incluses dans l'annexe, étant donné leur imprécision et leur inconstance. Cependant, une hausse de la pression artérielle a pu être remarquée en général, mais il n'y a pas d'avantages directs reliés à cette variation. En fait, avec une hausse de la pression artérielle, il est même plus difficile de transporter les nutriments vers les muscles.

Le moteur chauffe, ton corps encaisse

Ton cœur bat plus vite, ton souffle suit, et tu tiens plus longtemps. Le supplément de préentraînement agit clairement sur ta performance, surtout lors d'efforts comme la course. Reste à voir jusqu'où ces effets restent bénéfiques lorsque la fréquence de consommation augmente et que le corps y est exposé régulièrement... N'oubliez surtout pas qu'une « scoop » de ces suppléments est l'équivalent de cinq cafés noirs. C'est beaucoup ! On vous recommande donc fortement d'adapter votre dose en fonction de votre corps et de la réaction de celui-ci. Évitez la prise de ces suppléments en même temps que d'autres produits caféinés (boissons énergisantes, cafés et thés).

Rythme cardiaque maximum(BPM)				
	moyenne sans supplément	moyenne avec supplément	delta rythme maximal	delta rythme maximal (%)
Mathis	188	192	4	2,0
Laurence	191	193	2	1,0
Raphaële	178	183	5	3,2

Rythme cardiaque moyen (BPM)				
	moyenne sans supplément	moyenne avec supplément	delta de la moyenne	delta en pourcentage
Mathis	159	161	2	1,4
Laurence	165	169	4	2,5
Raphaële	149	159	9	9,3

Rythme respiratoire moyen (resp/minute)				
	moyenne sans supplément	moyenne avec supplément	delta moyenne respiratoire	delta moyenne respiratoire (%)
Mathis	18	21	3	18,9
Laurence	30	34	4	12,7
Raphaële	23	25	2	6,2

Figure 2 : Analyse des résultats de l'expérimentation. Source : données tirées d'une expérience en laboratoire [tableau créé à l'aide du logiciel Excel et du logiciel Graphical Analysis]. 2026

Références bibliographiques :

1. Stadheim HK, Stensrud T, Brage S, Jensen J. Caffeine Increases Exercise Performance, Maximal Oxygen Uptake, and Oxygen Deficit in Elite Male Endurance Athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. [En ligne]. 2021 [cité le 14 avril 2026]; 53(11) : 2264-2273. Disponible: https://journals.lww.com/acsmsmse/fulltext/2021/11000/caffeine_increases_exercise_performance_maximal.6.aspx 2.
2. Bella YF, Cupido SRS, Inacio PAQ, Sobral MLP, Vieira RP. Pre-Workout Supplements and Their Effects on Cardiovascular Health: An Integrative Review. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*. [En ligne]. 2025 [cité le 14 avril 2026]; 12(4): 92-112. Disponible : <https://www.mdpi.com/2308-3425/12/4/112>
3. Barkhidarian B, Khorshidi M, Shab-Bidar S, Hashemi B. Effects of L-citrulline supplementation on blood pressure: A systematic review and meta-analysis. *Avicenna Journal Phytomedicine*. [En ligne]. 2019 [cité le 14 avril 2026]; 9(1): 10-20. Disponible : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30788274/>

UN MIROIR TOURNANT POUR MESURER LA VITESSE DE LA LUMIÈRE

PAR FRANCIS LEDUC ET MAÏLO POTVIN

La lumière voyage à 300 000 kilomètres par seconde. Il semble que, même avec le meilleur radar de police, ce serait difficile de mesurer une telle vitesse ! Pourtant, même des étudiant(e)s au cégep peuvent tenter leur chance, avec un peu de préparation... et une touche de physique.

Depuis deux siècles, des physicien(-ne)s imaginent des moyens toujours plus ingénieux pour réussir à évaluer la vitesse de la lumière. Après l'échec du célèbre Galilée, Léon Foucault a tenté sa chance en 1862. Il a obtenu la mesure la plus précise jamais effectuée jusque-là grâce à un miroir tournant à une vitesse incroyable. À notre tour, nous avons utilisé son astuce pour tenter le coup ! Quelle chance : d'autres étudiant(e)s l'avaient fait avant nous, en Guadeloupe (1) ! Nous nous sommes donc basés sur leurs démarches. Suivez nos péripéties et plongez dans le délire de deux apprentis physiciens !

À quoi ça sert, au juste ?

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, connaître la vitesse de la lumière ne sert pas seulement à satisfaire le désir de connaissance des scientifiques. Cette constante est l'un des piliers de la technologie moderne. Par exemple, la fibre optique permet de transmettre de l'information à très grande vitesse grâce à des ondes électromagnétiques voyageant à la vitesse de la lumière (2). Pour rendre ce transfert plus précis, la vitesse de la lumière doit être connue avec précision. On l'utilise aussi dans les GPS. Des échanges d'ondes électromagnétiques permettent à ces appareils de calculer des positions avec précision. Les expériences pouvant améliorer la précision de cette valeur, comme celle de Léon Foucault, ont donc un réel intérêt historique et technologique.



Figure 1 : Image de deux spots créés par un faisceau laser observés pour deux fréquences de rotation différentes (~214 Hz et 205 Hz), montrant un décalage de moins d'un millimètre. Source : Luciani Mery, Quentin Gomes, Alys Arnold et Martin Leclerc. Culture Sciences Physique — ENS Lyon (article 2019) Images reproduites avec autorisation des auteurs

Un long voyage

Sur la figure 1, on peut voir deux taches lumineuses produites par un laser. Cela peut paraître anodin, mais, dans

l'expérience de Foucault, la lumière suit un parcours assez étrange avant d'en arriver là. D'abord, un rayon lumineux est émis par un laser jusqu'à une lame semi-réfléchissante : il est séparé en deux. Une partie est réfléchiée et est inutilisable, tandis que l'autre continue son voyage en passant à travers la lame de verre. Vous nous suivez ? Regardez les schémas de la figure 2 et suivez la direction des flèches ! Comme vous pouvez le constater, la lumière qui a traversé la lame arrive ensuite au miroir tournant. C'est le fameux miroir turbo ! Lorsque le rayon laser entre en contact avec lui, il est aussitôt réfléchi vers le miroir fixe. Cependant, le mouvement de rotation change tout ! Nous verrons bientôt pourquoi. Une fois passée cette étape, la lumière est réfléchiée par le miroir fixe et refait le chemin inverse jusqu'à la lame. Cette fois-ci, c'est la lumière réfléchiée par la lame qui nous intéresse. C'est cette partie du faisceau qui atteint enfin une feuille de papier quadrillé, la ligne d'arrivée. Une caméra filme le résultat.

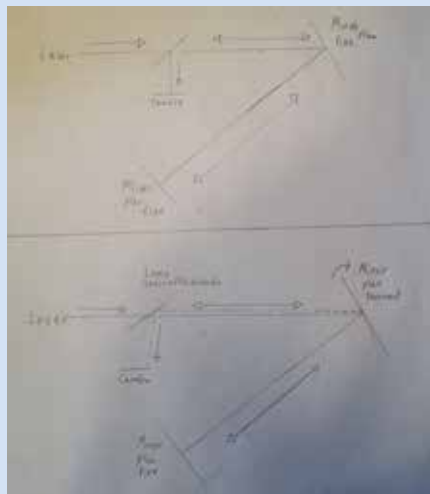


Figure 2 : Schéma simplifié du montage montrant le trajet d'un rayon laser avec et sans le miroir tournant. Le décalage n'est pas à l'échelle. Source : Francis Leduc et Maïlo Potvin

Pas si vite !

Comment relier tout cela à la vitesse de la lumière ? Pour le savoir, il faut comprendre comment le miroir tournant affecte un faisceau lumineux. À la position initiale du miroir, le rayon

revient sur ses pas avec le même angle qu'à son départ. La première tache lumineuse apparaît quelque part dans le champ de vision de la caméra. Après que le miroir ait tourné, le rayon se fait dévier d'un tout petit angle. La deuxième tache se forme donc à un endroit légèrement différent. La figure 2 illustre ce déplacement (1). En d'autres mots, lorsque le miroir tourne, il change l'orientation du trajet de la lumière. Ainsi, elle change de destination. Sur notre schéma, comme le miroir a légèrement tourné dans le sens horaire, le faisceau termine son trajet un peu plus à gauche. À l'aide d'un logiciel, il est possible de déterminer précisément la distance entre les deux « spots », que l'on appellera *décalage*.

Le calcul de la vitesse de la lumière

C'est à cette étape que le génie de Léon Foucault se manifeste. L'équation qu'il a conçue relie la vitesse de rotation du miroir, la longueur de notre montage et cet intrigant décalage entre les deux taches à la vitesse de la lumière. Voyez comment la grande valeur de la vitesse de la lumière affecte les trois paramètres de cette formule simplifiée :

$$\text{Vitesse de la lumière} = \frac{\text{Longueur du montage} \times \text{Vitesse de rotation}}{\text{Décalage}}$$

Le résultat doit donner une valeur immense. Comme on divise deux quantités (les deux mesures du haut par celle du bas), on s'attend à ce que la partie du bas soit minuscule, car diviser par un petit nombre donne un plus grand nombre. Par exemple, diviser par 0,1 revient à multiplier par 10. La quantité du haut, elle, doit être la plus grande possible. Cela crée une contrainte. Cela signifie que les deux valeurs du haut doivent être *maximisées*, c'est-à-dire que nous devons tenter d'allonger notre montage le plus possible et de faire tourner notre miroir le plus vite possible. Cet objectif devient le cœur de notre démarche. En pratique, pour obtenir un décalage de seulement trois millimètres, nous devons créer un montage d'une vingtaine de mètres de longueur et surtout faire tourner un miroir à plus de 20 000 tours par minute !

Un montage sous hautes contraintes

L'expérience de M. Foucault est aussi intéressante sur le plan mécanique et électronique que physique. Comment faire tourner un moteur à de telles vitesses ? En choisissant bien notre matériel électronique et en apprenant à l'utiliser. Pendant l'expérience, le miroir tourne si rapidement que des forces énormes tentent de l'éjecter à toute allure de son socle ! Pour réussir notre expérience sans détruire de matériel, il faut donc concevoir un montage protégeant le miroir. Une fois que l'on a tout le matériel et toutes les connaissances préalables, il ne reste qu'à voir si l'idée folle de faire tourner un miroir à 20 000 RPM fonctionne réellement !

En pratique, pour obtenir un décalage de seulement trois millimètres, nous devons créer un montage d'une vingtaine de mètres de longueur et surtout faire tourner un miroir à plus de 20 000 tours par minute !

Une cage protectrice pour miroir

Cela ne vous paraît-il pas dangereux de faire tourner un objet aussi fragile à une vitesse aussi grande ? À nous aussi. Quelques précautions étaient donc de mise si nous ne voulions pas que notre miroir tournant se transforme en Frisbee. D'abord, un peu de physique. Un objet qui tourne sur lui-même a besoin d'une force centripète dirigée vers son centre de gravité pour le garder en rotation. On peut comparer cela à un tourniquet dans une cour d'école : plus un enfant est éloigné du centre, plus il doit se tenir fermement pour rester en place. De façon similaire, plus le miroir est loin du centre de gravité et plus il tourne vite, plus il ressent de force. Par conséquent, tout ce qui est décentré a bien plus de chance de se faire éjecter. Notre miroir rotatif a été centré au meilleur de nos capacités. Avec l'aide d'un technicien et d'un professeur en génie mécanique, nous avons construit une structure en acier et un petit cadre en plastique imprimé en 3D pour retenir le miroir. La partie du bas stabilise le moteur en place, tandis que

celle du haut permet au miroir de tourner librement sur son axe de rotation, une sorte de ligne imaginaire passant par le centre de gravité. Pour ce faire, nous avons relié de petites tiges de métal entre elles qui passent de part et d'autre du miroir. Tout cela a donné naissance à cette structure d'acier particulièrement robuste. Son poids permet également de réduire les vibrations créées par le moteur, qui seraient dangereuses pour le miroir.

Un peu d'électromécanique

Des moteurs assez performants pour faire tourner un miroir aussi vite n'existaient pas à l'époque de Léon Foucault. À la place, il utilisait un mécanisme assez sophistiqué : une turbine alimentée par une soufflerie à air comprimé. De nos jours, l'expérience se fait en utilisant un moteur électrique, le même que l'on peut retrouver dans les voitures téléguidées. On contrôle sa vitesse à partir d'un miniordinateur, qu'on appelle *microcontrôleur*. Il est possible d'écrire un code que ce microcontrôleur peut utiliser comme instructions. Par exemple, on peut le programmer pour faire tourner le moteur à sa vitesse maximale pendant 10 secondes, puis s'arrêter. Après plusieurs essais et erreurs, nous avons réussi à rassembler le matériel. Somme toute, nous étions bien partis. En revanche, nous avons eu quelques problèmes avec les branchements et l'alimentation.

Une lumière d'espoir

Dans notre parcours pour mesurer la vitesse de la lumière, nous rencontrons encore quelques difficultés. Par exemple, nous n'arrivons pas à alimenter le moteur avec un courant suffisant pour qu'il puisse tourner. Ce n'est pas surprenant : mesurer la vitesse de la lumière n'a jamais été simple. Depuis le XIX^e siècle, des savant(e)s se cassent la tête en tentant d'atteindre le même but que nous ! Ces physicien(-ne)s, comme M. Foucault, suivaient la méthode scientifique : ces scientifiques amélioraient leurs manipulations petit à petit jusqu'à obtenir des résultats concluants. Comme elles et eux, nous devons nous prendre au jeu et continuer de résoudre ces problèmes un par un. Avec un peu

de persévérance, nous espérons bientôt réussir notre expérience et obtenir des résultats comparables à ceux des étudiant(e)s ayant réalisé l'expérience en Guadeloupe, comme le montre la figure 1. La qualité de leurs résultats constitue pour nous un objectif à atteindre, afin d'estimer à notre tour la vitesse la plus élevée de l'univers.

Remerciements

Nous tenons à remercier Nicolas Rey-Le Lorier, Bénédicte Plante, Marie-Joëlle Grégoire, André Séguin, Jérémie Barrette ainsi que Patrice Léger de nous avoir épaulés dans cette expérience. Mention spéciale à Jean-Pierre Pichoud, le professeur qui a supervisé l'expérience en Guadeloupe sur laquelle nous nous basons et qui a répondu volontiers à nos interrogations.



Figure 3 : Image du support à miroir tournant et à moteur. La ligne rouge représente l'axe de rotation du miroir. Source : Photo prise par Francis Leduc et Mailo Potvin.

Références bibliographiques :

1. Culture Sciences Physique. [En ligne]. Mesure de la vitesse de la lumière par l'expérience historique de Foucault ; 2019 [cité le 10 févr 2026]. Disponible : <https://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/Foucault-mesure-vitesse-lumiere.xml>
2. Bigo S. La fibre optique embobine la Terre. Dossier Pour la Science [En ligne]. Octobre 2006 [cité le 14 avr 2026] ; N° 53 Disponible : <https://www.pourlascience.fr/sd/physique/la-fibre-optique-embobine-la-terre-2448.php>

LES BACTÉRIES, LES ALLIÉES DE L'EXTRACTION DES MÉTAUX

PAR CHARLES BOUGIE, ANTOINE BOUGIE ET WILLIAM DUQUETTE

En 2022, plus de 60 millions de tonnes de déchets électroniques ont été répertoriées dans le monde, dont la moitié serait composée de métaux (1). Existerait-il un moyen de récupérer ces métaux relâchés et perdus dans l'environnement ? La biolixiviation, déjà utilisée par certaines entreprises, pourrait être la solution.



Figure 3 : Vue d'une mine d'extraction à ciel ouvert dans une montagne. Source : Vlad Chetan. Mining Excavation On A Mountain [Pexels en ligne]. 2019. Disponible sur : [Mining Excavation On A Mountain - Free Stock Photo](#)

Attendez ! La prochaine fois que vous voudrez changer d'appareil électronique, réfléchissez-y un instant. Dans chaque appareil électronique jeté, il y a des ressources naturelles qui pourraient être réutilisées. C'est pourquoi, dans notre société, plusieurs entreprises se tournent vers les organismes microscopiques pour diminuer les coûts et la quantité d'énergie reliés à l'extraction des métaux ainsi que pour diminuer son impact environnemental. En effet, nous sous-estimons souvent l'utilité des bactéries en raison de leur petite taille. Cependant, ce sont des microorganismes qui ont des capacités méconnues desquelles les entreprises peuvent tirer des avantages économiques et écologiques. Certaines bactéries peuvent accomplir un travail normalement réalisé par de la machinerie dans l'industrie minière et celle de la récupération des déchets. Cette approche s'annonce donc comme étant une stratégie prometteuse tant pour la récupération des métaux dans les déchets électroniques que pour l'extraction des métaux à partir des minerais (figure 1).

C'est quoi, la lixiviation ?

La lixiviation est un procédé où l'on extrait des substances solides en les dissolvant dans un liquide connu, tel que de l'acide sulfurique. Prenez par exemple du thé

ou du café. Pour pouvoir en consommer une bonne tasse, vous devez en extraire les arômes, les saveurs et le goût en les transférant dans de l'eau chaude. Pour y arriver, on fait passer une certaine quantité d'eau chaude à travers la poche de thé ou de café moulu, ce qui diffuse les saveurs dans la boisson. Cela permet donc de séparer l'arôme de la matière solide en utilisant un solvant. Celui-ci permet la dissolution de la substance désirée dans le liquide. Par la suite, il est possible de récupérer cette substance pour la consommer. Maintenant, si la lixiviation était poussée un peu plus loin, qu'arriverait-il si une technique différente de dissolution était utilisée ? La biolixiviation vous dit-elle quelque chose ?

En effet, certaines bactéries ont la capacité de produire des acides ou d'autres produits oxydants qui peuvent s'attaquer au minerai.

Quelle différence entre la biolixiviation et la lixiviation ?

Tout comme la lixiviation, la biolixiviation directe est une réaction où l'on met en contact un solide avec des

microorganismes au lieu d'un solvant. Dans ce contexte, le minerai (poche de thé) qui contient un certain métal (arôme du thé) est mis en contact avec des bactéries spécifiques (eau/solvant) qui récoltent le métal présent dans le minerai. En effet, ces mini êtres vivants permettent la libération du métal que l'on veut extraire sous forme dissoute, ce qui permet ensuite de les récupérer. Ce processus se produit lorsque les bactéries se nourrissent de certaines substances dans le minerai. Par la suite, elles relâchent des déchets métaboliques, comme des acides, qui vont dissoudre le(s) métal(aux) du minerai qu'elles contiennent. Par exemple, la bactérie *Sulfolobus metallicus* est capable de produire de l'acide sulfurique pour extraire du cuivre dans des échantillons de chalcoprite (2). À noter que la chalcoprite est un minerai composé de sulfure, de cuivre et de fer.

La biolixiviation indirecte est une variation du processus décrit ci-haut : les bactéries ne sont pas directement mises en contact avec le métal que l'on souhaite séparer du minerai. En effet, certaines bactéries ont la capacité de produire des acides ou d'autres produits oxydants qui peuvent s'attaquer au minerai. Dans l'expérience que nous avons créée, nous avons utilisé les substances produites par les bactéries pour dissoudre un fragment de cuivre pur. En somme, les biolixiviations directe et indirecte sont deux processus qui permettent de dissoudre un métal désiré à partir des propriétés spécifiques aux différentes espèces de bactéries.

Avantages et limites de nos petits soldats

La biolixiviation offre plusieurs avantages. Elle consomme moins d'énergie, limite l'usage de puissants produits chimiques et permet de valoriser des minerais qui ont une faible teneur de métal. Elle contribue aussi à réduire l'impact environnemental des procédés miniers. Cependant, ces petits soldats microscopiques ont leurs limites. Les

bactéries sont des êtres vivants qui n'ont pas tous les mêmes conditions idéales de croissance. Certaines espèces croissent uniquement dans des environnements où l'oxygène est présent, tandis que d'autres croissent dans des environnements sans oxygène. Leur croissance peut aussi être limitée par certaines variables, telles que la température, la disponibilité des substrats, le pH, etc. Cela veut donc dire que le processus de biolixiviation dépend des conditions dans lesquelles les bactéries sont exposées. Le rendement de l'extraction des métaux peut également être affecté par ces conditions. En effet, une même espèce peut donner différents rendements dans différentes conditions.

Choix de la bactérie

Maintenant que vous comprenez comment fonctionne la biolixiviation, voici comment elle a été mise en pratique dans ce projet académique. Un très grand nombre de facteurs peuvent venir influencer l'expérience. Premièrement, il y a le choix de la bactérie. Fallait-il opter pour une bactérie *Acidithiobacillus ferrooxidans*, une *Acidithiobacillus thiooxidans* ou même une *Fervidacidithiobacillus caldus* ? On peut comparer le choix de l'organisme utilisé avec le choix du bananier. Il est évident qu'on ne va pas planter des bananiers au Québec en janvier. Il faut faire pousser des espèces de végétaux adaptées à notre climat et que nous avons sous la main. C'est la même logique avec le choix des bactéries pour cette expérience. Vous l'aurez compris, il y a une grande variété de choix. L'espèce qui convenait le mieux aux ressources disponibles en laboratoire a été choisie, parce que ce sont des êtres vivants qui ont besoin d'un environnement et de nutriments spécifiques afin de rester en vie. En raison du contexte scolaire, la bactérie *Bacillus subtilis* a été choisie (figure 2). Cette dernière est une bactérie à anaérobiose facultative, c'est-à-dire qui peut aussi bien vivre en présence qu'en absence d'oxygène (3). Cependant, à la suite de plusieurs essais, il était possible de constater que la bactérie *B. subtilis* ne produisait pas d'acide lorsqu'elle se retrouvait dans un environnement avec de l'oxygène. Alors, il a fallu trouver un moyen afin qu'elle produise de l'acide, car s'il n'y a pas d'acide, il n'y a pas de biolixiviation. Ainsi, nous lui avons retiré l'oxygène afin qu'elle entre dans un



Figure 2 : Vue d'une bactérie *Bacillus* à l'aide d'un microscope. Source : Lakshmiraman Oza. Bacilles, Bactéries, Microbe [Pixabay en ligne]. 2022. Disponible sur : [Bacilles Bactéries Microbe – Photo gratuite sur Pixabay](#)

processus de fermentation, dont les produits sont généralement de l'alcool ou des acides. Finalement, les tests effectués ont indiqué que cette bactérie produisait, en grande majorité, de l'acide lors de la fermentation. C'est pour toutes ces raisons que la bactérie *Bacillus subtilis* a été choisie.

L'extraction du métal

Le métal choisi pour l'expérience est le cuivre parce que sa dissolution est facile à observer. En effet, la solution devient bleu pâle lorsque les ions de cuivre sont libérés. Lorsque l'acide est produit par la bactérie, celui-ci va s'attaquer au fragment de cuivre comme le vinaigre le ferait sur du calcaire. L'acide détériore doucement le fragment de cuivre dans la solution liquide. Le procédé est plus long lorsque ce sont des acides faibles qui sont utilisés. Maintenant que le fragment de cuivre est dissout, comment le récupérer sous forme solide ? C'est là qu'intervient le processus d'électrolyse (figure 3). On plonge une anode et une cathode dans la solution et on y passe un courant électrique. Ainsi, les ions de cuivre (chargés positivement) vont se déposer sur la cathode sous forme

solide. Cette situation est semblable à celle où l'on frotte un ballon de fête sur notre tête : les cheveux sont attirés vers le ballon en raison de l'électricité statique. La cathode chargée négativement attire les ions de cuivre (chargés positivement) sur elle sous forme solide. Puis, il ne reste plus qu'à sortir la cathode de la solution et à faire sécher le cuivre. Et voilà, le cuivre initialement emprisonné dans le fragment de cuivre est maintenant extrait sous forme solide. Le tout a été réalisé avec de simples bactéries.

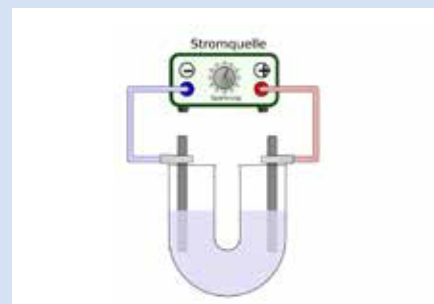


Figure 3 : Schéma d'un montage d'électrolyse (Stromquelle signifiant source d'alimentation et spannung signifiant tension). Source : B. Lachner. Elektrolyse mit U-Rohr [OPENCLIPART en ligne]. 2017. Disponible sur : [Elektrolyse mit U-Rohr - Openclipart](#)

Conclusion

Des chercheur(-euse)s se questionnent toujours sur d'autres moyens d'utilisation et d'optimisation du processus de biolixiviation grâce à des bactéries plus résistantes ou même génétiquement modifiées et améliorées. Certain(e)s ont même déjà trouvé l'utilité d'une souche de bactérie pour dissoudre des circuits imprimés, ce qui pourrait réduire considérablement l'empreinte écologique des appareils électroniques sur le monde, notamment celle de nos fameux téléphones cellulaires. Cette technologie permet même de réutiliser le cuivre utilisé dans la conception des circuits électroniques. Bref, l'univers microscopique du vivant est peut-être la solution face à nos problèmes actuels de résidus électroniques. Les êtres invisibles à l'œil nu sont peut-être même la clé pour l'optimisation de la future extraction minière. Qui sait, ils renferment peut-être même le secret permettant de miner sans creuser ?

Références bibliographiques :

1. Champagne Éric-Pierre. Nouveau rapport de l'ONU : Des déchets électroniques à perte de vue. La Presse [En ligne]. 2024 [Cité 14 avril 2026]. Disponible sur : <https://www.lapresse.ca/actualites/environnement/2024-03-22/nouveau-rapport-de-l-onu/des-dechets-electroniques-a-perde-de-vue.php>
2. Po A. Étude d'un procédé de biolixiviation mécaniquement assistée de la chalcopyrrite. [En ligne]. Toulouse : Université de Toulouse ; 27 juin 2023 [cité le 4 mars 2026]. Disponible : <https://theses.hal.science/tel-05293749v1/document>
3. Romero S, Merino E, Bolívar F, Gosset G, Martínez A. Metabolic engineering of *Bacillus subtilis* for ethanol production: lactate dehydrogenase plays a key role in fermentative metabolism. *Applied Environmental Microbiology*. [En ligne]. 2007 [Cité le 14 avril 2026];73(16):5190-5198. Disponible sur : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17586670/>

L'HYDROÉLECTRICITÉ POUR LES NULS : LES COULISSES D'UN MINICENTRALE!

PAR MARIANE NOLIN, ÉVANGÉLINE VIAU-DUBÉ ET MARIKA PILON

Fabriquer sa propre hydroélectricité est plus simple que vous le croyez ! L'hydroélectricité, invisible, mais essentielle, est la source d'énergie électrique la plus importante au Québec. Renouvelable et pratique, comment peut-on fabriquer une minicentrale qui fonctionne ?

Fatalité ! La météo du Québec fait encore des siennes ! L'électricité dans toute la province est coupée pour une durée indéterminée... Et si vous pouviez fabriquer votre propre électricité à la maison ? Sachant que, durant l'année 2023, il y a eu 51 531 pannes de courant au Québec, cela pourrait bien devenir indispensable (1). Transformer le déplacement de l'eau en électricité peut sembler impossible. Cependant, tout mouvement peut être converti en énergie électrique à l'aide d'un générateur. Avec un peu de chance et de travail, vous pourriez être capable de recharger votre téléphone en 20 minutes seulement !

Le saviez-vous ?

L'hydroélectricité produite au Canada représente 385 térawattheures par année, soit plus de 60 % de la production d'électricité totale du pays. Si un téléphone à recharge rapide utilise 40 wattheures pour une recharge complète de l'appareil, cela équivaut à 91 625 000 000 000 recharges complètes (2) !

L'assemblage d'une centrale hydroélectrique faite maison !

Une centrale hydroélectrique, c'est une installation qui produit de l'électricité en transformant l'énergie mécanique de

l'eau en énergie électrique. Autrement dit, c'est un système qui transforme la force de l'eau qui tombe en énergie de rotation (tout mouvement a une énergie) pour en faire de l'électricité. Les différentes parties de notre modèle réduit sont un réservoir d'eau, une turbine et un générateur. Tout d'abord, le réservoir contient l'eau qui chutera sur la turbine pour la faire tourner. Celui-ci doit être placé en hauteur pour obtenir la plus grande quantité d'énergie, ce qui s'explique simplement par l'accélération de l'eau causée par la gravité et la pression dans le réservoir. Plus l'eau sera haute au départ, plus sa vitesse sera rapide à son arrivée à la turbine. Ensuite, la turbine permet de convertir l'énergie de l'eau en énergie de rotation. En effet, l'eau, en tombant sur la turbine, engendre une rotation rapide de cette dernière, ce qui représente la conversion de l'énergie mécanique de l'eau en énergie de rotation. Cela active alors le générateur et permet la conversion de l'énergie de rotation en énergie électrique. Le générateur est donc l'élément clé pour fabriquer sa propre électricité.

Convertir un mouvement en électricité ?

Produire de l'électricité à partir d'un mouvement physique, c'est totalement

possible ! D'abord, quelle est la différence entre énergie mécanique et énergie électrique ? L'énergie mécanique, c'est la somme de l'énergie cinétique, qui concerne le mouvement d'un objet, et de l'énergie potentielle, qui est liée à la force de gravité et dépend de la hauteur de la chute d'eau. L'énergie électrique, quant à elle, est l'énergie du champ électrique qui pousse sur les électrons à travers un matériau conducteur qui laisse passer un courant électrique. Pour produire de l'énergie électrique à partir d'un mouvement mécanique, il faut un générateur. Le principe d'un générateur est simple : faire tourner des aimants, ce qui fait également tourner leur champ magnétique, ce qui produira finalement un champ électrique dans le circuit. C'est ce champ électrique qui contient l'énergie qui génère le courant électrique de la minicentrale.

Maintenant que nous savons ce qu'est un générateur, comment le fabriquer ? La façon la plus simple et pratique de convertir un mouvement de rotation en électricité nécessite des matériaux, tels que quatre aimants puissants, du carton, environ 75 mètres de fil de cuivre de calibre 30, un clou métallique de 8 cm ou plus, des ciseaux, de la colle chaude et un tuyau (3).

Tout d'abord, il faut fabriquer une boîte rectangulaire qui contiendra le clou ainsi que les aimants et qui sera entourée par le fil de cuivre. En fait, cette boîte sera transpercée par le clou métallique et les aimants, collés deux par deux, seront d'un côté et de l'autre de ce clou, à l'intérieur de la boîte de carton. Il faut que celle-ci soit assez grande pour que le clou et les aimants puissent tourner facilement : sa grandeur dépend donc de celle de ces derniers. Enfin, il faut entourer le fil de cuivre autour de la boîte comme illustré à la figure 2.



Figure 1 : Notre turbine rose, imprimée à l'aide d'une imprimante 3D. Source : Photo prise par Marika Pilon et Mariane Nolin.



Figure 2 : Vue de côté de notre générateur fait maison. Source : Photo prise par Évangéline Viau-Dubé



Figure 3 : Vue du dessus de notre générateur fait maison. Source : Photo prise par Évangéline Viau-Dubé.

La rotation du clou engendre la modification du champ magnétique par le mouvement des aimants. Plus ce clou tournera rapidement, plus le courant sera fort. Dans notre modèle, le mouvement du clou est engendré par la rotation de notre turbine grâce à la chute de l'eau.

Faire attention à l'environnement, pour un avenir mirifique !

Bien qu'au Québec ce soit très courant de transformer le mouvement de l'eau en électricité, il faut prendre en compte les

enjeux environnementaux impliqués dans cette pratique. En fait, l'hydroélectricité est théoriquement écologique : c'est une source renouvelable, qui ne produit pas de gaz à effet de serre. Cependant, lorsqu'on se penche sur le sujet, la construction d'une centrale hydroélectrique est dévastatrice pour l'environnement. En effet, les animaux, les insectes et les plantes voient leur habitat complètement détruit.

Cela n'est cependant pas un problème dans le contexte de notre minicentrale faite maison, puisqu'elle n'implique pas la destruction d'un habitat. En revanche, il faut faire attention au gaspillage d'eau. En effet, pour faire fonctionner la centrale, nous avons besoin d'une grande quantité d'eau. Si cette dernière est récupérée, il existe plusieurs moyens de la recycler. Premièrement, l'eau peut être utilisée pour arroser des plantes ou un jardin. De plus, elle peut servir de breuvage pour les animaux. Finalement, elle peut servir à nettoyer des biens, tels qu'une voiture, par exemple. Bref, plusieurs moyens pour recycler l'eau et faire attention à l'environnement sont à notre portée !

Comment avoir le meilleur résultat possible ?

Dans un monde idéal, pour avoir la plus grande puissance électrique, il faudrait que toute l'énergie de l'eau se transforme en énergie de rotation de la turbine, puis en énergie électrique. De plus, il faudrait qu'il n'y ait aucune force de frottement lors du mouvement de rotation et aucune perte d'eau lors de la chute. Le fil de cuivre devrait également transporter 100 % de l'énergie électrique de façon fluide. Ceci est totalement impossible dans les conditions d'une minicentrale faite maison.

Nous avons d'abord essayé de créer notre modèle de centrale hydroélectrique sans tuyau pour transporter l'eau vers la turbine. Autrement dit, seule la gravité guidait l'eau. Cependant, avec ce modèle, une partie considérable de l'eau tombait à côté de la turbine ou éclaboussait dans tous les sens, ce qui représente

une grosse perte d'énergie. Pour réduire cette perte, nous devons utiliser une composante qui force l'eau à passer dans la turbine, c'est-à-dire un tuyau ou une glissade. Il est cependant plus simple d'utiliser un tuyau, puisqu'en utilisant une glissade, il faudrait épouser la forme de la chute d'eau, ce qui peut s'avérer compliqué.

De plus, le modèle parfait implique que toute l'énergie de l'eau se transfère à la rotation de la turbine. Cependant, en pratique, l'eau conserve la majorité de son énergie pour continuer son mouvement. Ainsi, pour trouver notre puissance, nous devons utiliser la vitesse de rotation de la turbine et non la vitesse de l'eau. De plus, la force de frottement n'est pas négligeable. En effet, lorsque la turbine et le générateur tournent, une certaine quantité d'énergie est perdue à cause de la force de frottement. Or, il est possible de réduire ce frottement en enduisant certaines parties du système d'un corps gras, comme de l'huile ou du beurre.

Il reste cependant plusieurs éléments imprévisibles dans un modèle de centrale hydroélectrique maison. Tout d'abord, le générateur fait maison dépend de deux principaux éléments : la puissance de l'aimant et le fil de cuivre. En effet, plus la puissance magnétique de l'aimant est grande, plus le champ magnétique est perturbé par la rotation, ce qui produit plus d'électricité. En ce qui concerne le fil de cuivre, la longueur de ce dernier fait varier l'énergie produite. En augmentant le nombre de tours de fil de cuivre autour du générateur, l'aimant n'a pas besoin de tourner aussi vite qu'avant. Donc, pour une même vitesse de rotation de la turbine, en ajoutant plus de fil de cuivre, la quantité d'électricité augmentera. Ces deux variables font en sorte qu'il est très difficile de prédire la quantité d'énergie produite par notre centrale. Sachant tout cela, il est peut-être plus simple d'attendre qu'Hydro-Québec règle les pannes !

Références bibliographiques :

1. Lacoursière A. Dossier : Hydro-Québec | Des pannes à n'en plus finir (3 articles). La Presse [En ligne]. 21 sept 2024 [cité le 24 mars 2026] ; Disponible : <https://www.lapresse.ca/actualites/hydro-quebec/des-pannes-a-n-en-plus-finir/2024-09-21/des-coupures-d-electricite-meme-par-beau-temps.php>
2. Hydroélectricité Canada. [En ligne]. Découvrir. Découvrez comment l'hydroélectricité est produite au Canada [cité le 14 avr 2026]. Disponible : <https://waterpowercanada.ca/fr/decouvrir/>
3. Ultra simple generator [En ligne]. Beaty B. Science fair project: Ultra-simple Electric Generator, construction ; 1996 [cité le 10 févr 2026]. Disponible : http://amasci.com/coilgen/generator_1.html

DIOXYDE DE CARBONE : POUSSINS PRÉMATURÉS OU ASPHYXIÉS ?

PAR LÉONIE DESPOTS, KATRINA LALONDE ET MAXIM MARLEAU

Dans une société où l'efficacité de la production est mise de l'avant et que les douzaines d'œufs sont de plus en plus chères à l'épicerie, sommes-nous en mesure d'accélérer la production d'œufs ?

Et si l'on ajoutait du dioxyde de carbone (CO_2) dans l'unité de naissance de l'hôpital ? Est-ce que vous pensez que les bébés survivraient ? Probablement pas. On s'imagine donc qu'aucune espèce ne pourrait bénéficier d'être asphyxiée au CO_2 . À part les arbres, la plupart d'entre nous le considèrent comme une nuisance. Il existe toutefois une espèce très connue qui en tire avantage à un stade de son développement. En effet, les poussins peuvent gagner à être exposés au CO_2 lorsqu'ils sont encore dans l'œuf.

De la poule à l'œuf à la poule

Une poule, ça pond des œufs, oui, mais comment, quand et par où ? Dans ses ovaires, la poule développe l'ovule ainsi que le jaune d'œuf. Ce sont les premières traces du développement de l'œuf. Avant d'atteindre l'utérus, l'ovule passe dans l'*infundibulum*, qui est l'équivalent des trompes utérines (Fallope) chez l'humain. C'est à cet endroit qu'il va être fécondé par le spermatozoïde du coq. S'il n'est pas fécondé, il va quand même continuer son développement et finir par sortir par le cloaque, qui est l'équivalent du canal vaginal. C'est cet œuf qui va être consommé par les humains. Après la fécondation, il va ensuite descendre dans l'utérus où le blanc d'œuf et la coquille sont formés. La coquille est en fait composée de carbonate de calcium (CaCO_3). Elle permet d'assurer la première ligne de défense bactérienne. Elle agit aussi comme le lieu de développement. Le poussin va donc être en mesure de se développer dans un environnement protégé. Après la ponte de l'œuf, celui-ci doit être incubé pendant 21 jours. Dans la nature, la poule va couvrir ses œufs sous son corps. Sa chaleur corporelle permet de garder les œufs à une température adéquate. Lors d'une incubation artificielle, les œufs sont mis dans un incubateur pendant 21 jours, à une température d'environ 37°C , ce qui reproduit la chaleur corporelle de la poule. Ce processus peut être comparé à la grossesse d'une femme, seulement l'œuf, lui, est à l'extérieur. Un œuf qui arrive dans notre assiette est donc simplement



Figure 1 : Technique de mirage afin d'observer les vaisseaux sanguins de l'œuf. Source : Marleau M. Technique de mirage [Photo prise à l'aide d'un téléphone intelligent]. 2026

un œuf qui n'a pas rencontré de spermatozoïde (1).

Respirer pour grandir

La coquille d'un œuf est très poreuse, environ 10 000 pores permettent la régulation et les échanges de gaz et de chaleur. L'œuf contient tous les nutriments dont il a besoin dès le départ dans l'albumen (le blanc d'œuf) qui entoure l'embryon. En effet, le blanc d'œuf contient des protéines et de l'eau fournies à l'embryon pendant la période d'incubation. En revanche, il absorbe tout de même l'oxygène par ses pores afin

Le CO_2 , n'est-ce pas nocif, d'habitude ?

d'effectuer la respiration cellulaire et de permettre au futur poussin de respirer. Lorsque l'oxygène pénètre dans l'œuf, ce dernier produit du dioxyde de carbone, de l'eau et de la chaleur. En quelques jours, la concentration de CO_2 dans l'incubateur peut augmenter drastiquement, puisque l'œuf en relâche beaucoup. Le CO_2 , n'est-ce pas nocif, d'habitude ? Oui, à hautes doses, le CO_2 , ce n'est pas notre meilleur ami. Cependant, des doses contrôlées peuvent être bénéfiques. D'après

les chercheurs, une augmentation du taux de dioxyde de carbone dans l'environnement des œufs incubés aurait comme effet d'intensifier la formation de vaisseaux sanguins à l'intérieur des œufs (2). Lors des dix premiers jours d'incubation, les embryons peuvent survivre avec jusqu'à 14 000 ppm (1,4 %) de CO_2 dans l'air. C'est au cours de cette période que les vaisseaux sanguins se créent et que l'embryon (futur poussin) se développe. Des jours 10 à 15, l'embryon continue de se former et se retourne dans l'œuf afin que sa tête soit dans la chambre à air de l'œuf. À partir du jour 18, le développement du poussin est terminé et le poussin occupe tout l'espace de l'œuf, à l'exception de la poche d'air. C'est plus précisément au jour 20 que le poussin commence à respirer et au jour 21 qu'il éclot.

Rapide et infailible

En plus de son impact positif sur la formation des vaisseaux sanguins, le dioxyde de carbone a fait l'objet d'études afin d'évaluer ses effets sur la rapidité et le succès de l'éclosion des œufs. Ces recherches ont été menées par des scientifiques de l'Université fédérale de Goiás au Brésil (3). On a réalisé cette expérience dans trois milieux distincts, en ne faisant varier que l'entrée et la sortie de CO_2 . Les autres facteurs internes, tels que la température et l'humidité, sont restés constants. Dans le premier incubateur, il n'y avait aucun ajout de CO_2 , seulement le renouvellement de l'air. Dans le deuxième incubateur, il n'y avait ni ajout de CO_2 ni renouvellement de l'air, ce qui permettait d'observer l'effet d'un environnement fermé. Enfin, dans le troisième incubateur, le CO_2 a été ajouté et il y avait le renouvellement de l'air. Durant les dix premiers jours d'incubation, période critique pour le développement de l'embryon, les embryons du troisième environnement ont reçu une quantité progressive et contrôlée de CO_2 . À la fin de la période d'incubation, les résultats ont démontré que les embryons d'œufs de poule exposés au dioxyde de carbone naissaient prématurés (et en bonne santé), avaient un meilleur taux d'éclosion



Figure 2 : L'un des poussins le lendemain de l'éclosion. Crédit : Adobe Stock Photos

et donc, une baisse de mortalité embryonnaire. Ceci suggère que le CO_2 , lorsqu'il est utilisé de manière contrôlée, peut améliorer les conditions de développement chez les poussins.

Expérience réussie ?

Nous avons décidé de reproduire cette expérience afin de vérifier si nous pouvions obtenir des observations similaires. Pour ce faire, nous avons installé deux incubateurs, contenant chacun six œufs et maintenus à une température de $37,5^\circ\text{C}$. Dans le premier incubateur, les conditions sont restées normales, sans aucune modification de l'environnement, alors que dans le deuxième incubateur, nous avons introduit du dioxyde de carbone, en ajoutant un ballon gonflé au CO_2 une fois par jour, durant les dix premiers jours d'incubation. Les ballons utilisés avaient un volume variant entre 0,1 % et 0,4 % de celui de l'incubateur, permettant ainsi une augmentation progressive et modérée de la concentration de CO_2 , sans trop perturber l'environnement interne.

Lors de notre expérimentation, nous avons obtenu un taux d'éclosion de 67 %, ce qui correspond à huit œufs éclos sur un total de 12. Ceux exposés au CO_2 et ceux qui ne l'ont pas été sont nés la même journée. Bien que ce résultat soit relativement satisfaisant, il ne nous a pas permis d'observer l'effet du CO_2 sur la rapidité et le succès de l'éclosion. Les

résultats peuvent être influencés par plusieurs facteurs. Tout d'abord, il est important de considérer qu'il est difficile de déterminer si un œuf est fécondé avant le début de l'incubation. Contrairement à l'être humain, la poule ne peut pas faire un test de grossesse ou une échographie. Ainsi, certains œufs utilisés dans l'expérience pouvaient ne pas être fécondés dès le départ, ce qui influence directement le taux d'éclosion observé. Ce n'est qu'à partir du sixième jour d'incubation qu'il devient possible de détecter des signes de vie grâce à une technique appelée le mirage (figure 1). Cette méthode consiste à placer une lumière sous l'œuf, dans une noirceur totale, afin d'observer l'intérieur. La présence des vaisseaux sanguins ou d'une ombre indique le développement d'un embryon. Par conséquent, le taux d'œufs non éclos ne correspond pas nécessairement au taux de mortalité. L'absence de fécondation ainsi qu'un développement anormal peuvent expliquer l'absence d'éclosion. En revanche, l'éclosion non précoce peut être expliquée par l'ajout d'une quantité insuffisante de CO_2 .

Malgré le fait que nous n'avons pas observé l'effet du CO_2 sur la rapidité et le succès de l'éclosion, notre expérience a permis de constater que l'ajout de dioxyde de carbone n'a pas empêché le développement des embryons. Les poussins ont tout de même été capables

de survivre et d'éclore dans ces conditions. Ce ne sont pas toutes les espèces qui ont la capacité de survivre ni de se développer dans de telles conditions. Ceci met en évidence la particularité des embryons de poule face à ce type de conditions.

Ainsi, ce qui serait impensable dans une unité de naissance humaine peut, dans un incubateur, devenir un avantage. Chez les poussins, le CO_2 , souvent perçu comme nuisible, peut favoriser leur développement lorsqu'il est bien contrôlé.



Figure 3 : L'un des poussins lors de l'éclosion. Source : Marleau M. Éclosion d'un œuf [Photo prise à l'aide d'un téléphone intelligent]. 2026

Références bibliographiques :

1. Stromberg J. A Guide to Better Hatching. 1^{re} éd. Fort Dodge, Iowa : Stromberg Publishing Compagny; 1975.
2. Lourens S, Holleman J, van Schie T. Hatchery Signals A practical guide to improving hatching signals. 1^{re} éd. [En ligne]. The Netherlands : Roodbont Publishers B.V.; [cité le 12 févr 2026]. 204 p. Disponible : <https://www.scribd.com/document/726756165/Hatchery-Signals-A-Practical-Guide-to-Improving-Hatching-Results-VetBooks-ir>
3. Gonzales E, Neto FLK, Alarcon MFF, Morita V de S. QUALITÉ D'INCUBATION DES OEUFs DE POULES COBB 500 SOUMIS AUX HAUTS TAUX DE CO_2 ENTRE LES JOURS 1 ET 10 DE DÉVELOPPEMENT EMBRYONNAIRE. Goiania, Université fédérale de Goias; 2011; Disponible : <https://www.cabi.org/Uploads/animal-science/worlds-poultry-science-association/WPSA-france-2011/007.pdf>



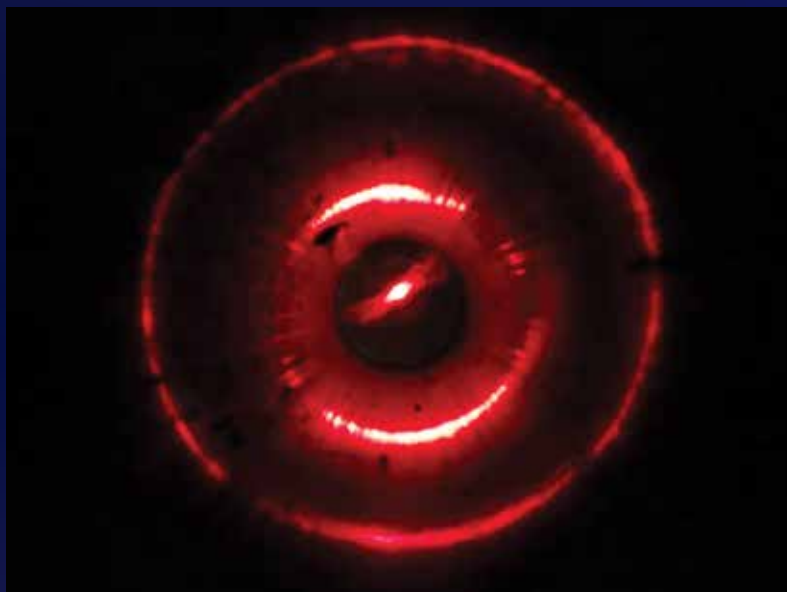
L'espèce de cette grenouille est *Dendrobates auratus* ou *Green and Black Dart-poison Frog*. C'est un amphibien extraordinairement beau avec son corps noir comme le vide et tacheté d'accents de vert saisissant. Elle adore les sources d'eau cachées, à l'abri de la lumière. La grenouille est vue ici sur une feuille humide dans une jungle, son habitat de choix. Elle a une beauté mortelle, littéralement. Sa peau est toxique pour une multitude d'espèces qui font plusieurs fois sa taille. Cette toxicité est causée par son alimentation. Les alcaloïdes qu'elle sécrète la protègent contre les potentiels prédateurs. C'est un bel exemple de la dualité de la nature (1).

Felobater Soker. Photo prise le 27 avril 2024 au Biodôme de Montréal.

Bibliographie :

1. Animal Diversity Web [En ligne]. Rachel S. *Dendrobates auratus* (Green and Black Dart-poison Frog) | INFORMATION | Animal Diversity Web ; 7 juin 1999 [cité le 7 avr 2026]. Disponible : https://animaldiversity.org/accounts/Dendrobates_auratus/

Cette photo montre le passage d'un faisceau laser rouge à travers une feuille de papier millimétré. Elle a été prise lors d'essais préliminaires visant à vérifier si le point du laser permettait de distinguer le quadrillage afin d'effectuer des mesures précises. On observe au centre un point très lumineux correspondant au faisceau principal, entouré d'anneaux causés par la diffraction et la diffusion de la lumière à travers le papier. Le montage comprenait une caméra dont l'objectif était placé au bout d'un long tube en PVC afin d'isoler le faisceau et de réduire l'influence de la lumière ambiante. Cette étape s'inscrit dans une expérience visant à estimer la vitesse de la lumière par la méthode de Foucault, où il est essentiel de pouvoir observer clairement une échelle comme le papier millimétré.



Francis Leduc et Mailo Potvin, mars 2026, Salaberry-de-Valleyfield

L'interférence de la lumière à travers une bulle de savon



La lumière du soleil est constituée d'une combinaison de toutes les longueurs d'onde qui sont visibles pour l'être humain, lesquelles correspondent aux couleurs de l'arc-en-ciel. Pourquoi, lorsque la lumière frappe une bulle de savon, pouvons-nous voir de la couleur sur la bulle ? Cela est dû au fait qu'une partie de la lumière est réfléchiée par la bulle alors qu'une autre partie passe dans la bulle et est réfléchiée par sa paroi intérieure. Ces deux ondes réfléchies se rencontrent hors de la bulle et se frappent. Il y a donc un effet d'interférence entre les deux ondes, ce qui annule certaines couleurs. Ce que nous voyons, ce sont les couleurs qui n'ont pas été détruites.

Guillaume Poirier, 8 avril 2026,
Salaberry-de-Valleyfield

La *Dracula simia* est une orchidée exceptionnelle et rare dont la fleur ressemble à un visage de singe. Le mot *simia* signifie *singe* en latin. Elle fait partie de la famille des Orchidacées, la même famille qui inclut la *Cattleya trianae*, fleur nationale de la Colombie. Cette espèce particulièrement exigeante a été observée le 14 janvier 2024 dans la serre d'un habitant d'une région plus montagneuse de Medellín.

Mélodie Raby, 14 janvier 2024, Colombie



SCIENCES DE LA NATURE AU CÉGEP DE VALLEYFIELD

TON PASSEPORT
POUR L'UNIVERSITÉ!



**Double DEC possible
SCIENCES DE LA NATURE & ARTS VISUELS**

AU CÉGEP DE VALLEYFIELD, LE PROGRAMME SCIENCES DE LA NATURE T'OFFRE

Des projets uniques comme la revue scientifique des finissant(e)s, *Ça, c'est de la science!*
Une première rédaction scientifique distribuée à raison de 1 600 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
Séjour à l'Île Thompson, cours « Écologie et évolution »
Des laboratoires à la fine pointe de la technologie
Plusieurs mesures d'aide pour faciliter ton intégration à la 1^{re} session
Un parcours recherche en écologie te permettant de participer à des activités scientifiques sur le terrain