



Decouvrir

Etre Curieux

Démontrer

Rechercher

DECODE[R]

s'Ouvrir

Expérimenter

# Journal Décoder

**Volume 1 / 2020**



*"Nous avons imaginé un journal pluridisciplinaire dans lequel des chercheur.e.s pourraient publier leurs articles dans une version « vulgarisée », en accès libre. Ces articles vulgarisés seraient ensuite validés après un travail de relecture de collégien.ne.s, et/ou lycéen.ne.s mis.e.s en contact avec le.la chercheur.e."*

[journal-decoder.fr](http://journal-decoder.fr)

# Sommaire

Quelques mots de l'équipe éditoriale - page 3

Témoignage du Collège Albert Camus - page 4

Témoignage de France Collard, chercheuse - page 5



"Interrogations et espoirs sur l'usage de la peine de mort en Chine" - page 6

"Un algorithme pour détecter les choix passés qui impactent les choix futurs" page 11

"Une approche physique pour comprendre la croissance des plantes dans l'espèce" - page 18

"Réponse des plantes à l'environnement spatial : un guide pour les futurs jardiniers de l'espace" - page 28

"Des microplastiques dans le foie des anchois" - page 39



Nos prochaines actions - page 43

## Et si on faisait de la recherche tous ensemble ?

*“La liberté commence où l’ignorance finit” Victor Hugo.*

La situation inédite que nous connaissons aujourd'hui à échelle planétaire nous rappelle comme le monde est complexe : l'exploitation et/ou la vente d'une espèce (et nous ne sommes encore pas bien sûr de savoir laquelle), par un effet de cascade, a considérablement déstabilisé nos sociétés à l'échelle globale en quelques mois. Les interactions entre espèces sont un bel exemple de domaine d'étude où les inconnues sont encore nombreuses. La recherche scientifique s'attelle à comprendre et traduire ces complexités. Pourtant, la recherche n'a pas pour but de travailler dans l'urgence et ne peut pas attendre l'apparition d'une crise pour creuser un nouveau sujet. Comprendre par exemple comment deux espèces interagissent nécessite de dresser avec précision le bilan des connaissances pour mettre en lumière les lacunes de notre compréhension. Il est ensuite nécessaire de bien détailler le questionnement, les hypothèses, ainsi que les objectifs de l'étude qui sera alors mise en place. Vient après la mise en place d'un protocole puis sa réalisation, et enfin l'analyse des résultats et leurs interprétations. C'est tout ce cheminement de pensées que DECODER cherche à transmettre aux élèves. Tout l'enjeu de notre démarche est de transmettre dans un même temps (1) les connaissances acquises par le monde de la recherche ET (2) le questionnement, la méthodologie et les limites sous-jacentes. Nous souhaitons à la fois partager de la connaissance et les clés permettant de comprendre et d'analyser cette dernière. Les jeunes générations développent ainsi leur réflexion et leur curiosité et aiguisent leur esprit critique, comme en témoigne dans cet édito Sébastien Baron, professeur de physique au collège Albert Camus de Clermont-Ferrand. Pour compléter cet objectif, il est nécessaire de montrer la diversité des domaines d'études et l'importance de la transdisciplinarité pour enrichir nos connaissances. C'est d'ailleurs cette pluridisciplinarité qui saute aux yeux à la lecture de ce premier volume. Nous examinerons des sujets sociétaux comme l'usage de la peine de mort en Chine, ainsi que des problématiques environnementales (le pollution plastique de plus en plus présente ou encore la croissance des plantes) pour finalement nous tourner vers l'avenir et la possibilité de faire pousser des plantes sur Mars. Et c'est donc dans cette optique de partage de la connaissance que s'inscrit ce premier volume. Nous profitons de ce bel événement qu'est la semaine de la presse pour lancer ce premier volume, qui sera, nous espérons, suivi par de nombreux autres.

*L'équipe éditoriale de DECODER: Antoine, Aurore, Barbara, Benjamin, et Lucie*



## Témoignage collègue Albert Camus



Nous avons pour la première fois mis des élèves en contact avec l'équipe du Journal DECODER durant l'année 2019-2020. Cette année très particulière n'a pas facilité nos tâches d'enseignement et nous avons dû nous adapter à des contextes individuels disparates.

Cependant, dans le Parcours Sciences que nous animons, il y avait une équipe de 3 garçons, Badr, Ludovic et Hugo, que nous sentions prêts à se confronter à cet exercice de réécriture pour vulgariser un article scientifique. Ces élèves avaient en amont travaillé sur un projet de filtration des eaux usées et avaient fini par se pencher sur la problématique des microplastiques.

De fait, la mise en relation avec France COLLARD était toute naturelle.

L'entièreté du travail fourni par les élèves s'est faite à distance (confinement oblige et mesures restrictives en mai-juin). Ils ont su s'organiser pour se partager le travail ; nous leur imposons des dates butoirs pour nous faire part de leurs avancées.

Nous avons en cours de réflexion posé des questions et proposé une première version par messagerie à France COLLARD.

Puis lorsque les élèves s'étaient suffisamment imprégnés du sujet, nous avons organisé une visio. Durant plus d'une heure, nous avons échangé sur le contenu et la qualité de la réécriture. France a apporté des compléments d'informations, des explications, a justifié des corrections nécessaires. Environ une demi-heure supplémentaire a été consacrée à des échanges plus généraux sur son activité, sa future mission et la problématique globalisée des microplastiques.

En tant qu'enseignants nous avons apprécié cette expérience dans la mesure où :

- Elle permet de travailler différemment avec les élèves.
- Elle nous met pratiquement sur un même niveau que les élèves puisque nous découvrons aussi le sujet.
- Elle permet de valoriser les élèves et de les ouvrir à des champs de réflexion qu'il est parfois impossible de découvrir en classe et encore moins d'explorer aussi profondément.
- Elle ouvre le champ des possibles pour les élèves : ce n'est pas tous les jours qu'ils peuvent échanger directement avec une chercheuse.

Nous avons conclu cette première session, en fournissant une lettre de recommandation signée par notre Chef d'établissement aux 3 élèves.

Cette année nous avons lancé deux autres projets DECODER avec deux élèves de 5ème.

Encore merci à toute l'équipe du Journal DECODER et à France COLLARD pour leurs disponibilités et leurs volontés de passer du temps pour et avec nos élèves.

*Sébastien Baron, professeur de sciences physiques au collège Albert Camus de Clermont-Ferrand.*

*Mathieu Missonnier, professeur de sciences de la vie et de la Terre au collège Albert Camus de Clermont-Ferrand.*



## Témoignage France Collard



Lorsque j'ai été contactée par l'équipe DECODER pour faire partie d'un projet de vulgarisation d'un de mes articles scientifiques, et plus précisément sur la méthode utilisée, j'ai tout de suite accepté. Il est primordial pour moi, comme beaucoup d'autres chercheurs, de pouvoir communiquer sur mon travail d'une autre manière, comme la vulgarisation et la discussion avec des collégiens. Nous, chercheurs, sommes habitués à communiquer au quotidien avec des personnes proches de notre domaine voir directement impliqués dans nos différents projets. Cependant, il est fondamental de pouvoir communiquer sur notre recherche à des personnes qui ont plus de recul, moins de connaissances techniques et peut-être un autre point de vue. Cela nous permet de nous recentrer sur l'objectif global de la recherche : le partage des connaissances envers un grand public, qui peut alors agir en connaissance de cause. Par exemple, si la recherche sur la pollution par les plastiques n'était pas partagée au grand public, incluant les politiciens et les étudiants, le monde entier ne serait pas au courant des problèmes que cause cette pollution à court et long terme et donc, il y aurait très peu de mesures prises par nos dirigeants et par les citoyens comme l'interdiction d'utiliser de certains objets plastiques à usage unique ou le nettoyage annuel de certaines plages dans le monde entier.

C'est donc tout naturellement que j'ai accepté de faire partie du projet et d'aider les trois élèves du collège Albert Camus de Clermont-Ferrand : Badr, Hugo et Ludovic. C'était un exercice très intéressant pour moi, car au-delà d'être un moyen pour vulgariser et partager ma recherche, j'ai été confrontée à des questions plus globales, se penchant sur le pourquoi plus que sur le comment. Mon travail a été remis en perspective et nos échanges par courriel ainsi que nos visioconférences m'ont permis de me recentrer sur le but principal de la recherche scientifique : répondre à des questions, vérifier des hypothèses et partager ces réponses.

*France Collard, Norwegian Polar Institute · Scientific Research Department, PhD in Science*

# Interrogations et espoirs sur l'usage de la peine de mort en Chine

Barbara Goncalves<sup>1</sup> (doctorante) et la classe de 3<sup>ème</sup> 4 du collège Albert Camus de Mme Dessolin<sup>2</sup> (*la liste des élèves est mentionnée en fin d'article*)

**Article original/Original article:** Barbara Goncalves, *Revue trimestrielle des droits de l'homme*, ISSN 0777-3579, Année 24, N° 95 (Julliet 2013), 2013, pp. 617-633

**Institution :** <sup>1</sup>Université Clermont Auvergne, Centre Michel de l'Hospital, 41 Boulevard François Mitterrand TSA 80403, 63002 Clermont-Ferrand Cedex 1

<sup>2</sup>Collège Albert Camus, Rue du Sous-marin Casabianca, 63000 Clermont-Ferrand



Alors qu'au début du XX<sup>e</sup> siècle, la peine de mort n'était qu'une question d'État, c'est-à-dire que l'État décidait seul de permettre et pratiquer ou non la peine de mort sur son territoire, et qu'il était admis que les mesures pénales étaient des expressions essentielles de la souveraineté de l'État ; depuis la fin de la seconde guerre mondiale, l'État a perdu son avantage. En effet, de nombreux textes juridiques internationaux sont venus limiter l'utilisation de la peine de mort voire inciter à

sa suppression, et de ce fait la pratique ou non de la sentence capitale par un État a un impact conséquent au niveau international. Ainsi, il paraît judicieux de réaliser un état des lieux sur la pratique de la peine de mort dans le monde. Puis, nous allons analyser plus particulièrement la relation que la Chine entretient avec cette peine.

1

Article en accès libre sous licence Creative Commons (CCAL) : cet article est en téléchargement et diffusion libre sans but commercial ni modification et doit être cité comme mentionné en fin d'article ou sur le site du journal.

*Free access article under Creative Commons licence: this article can be downloaded and shared without any commercial purpose and cannot be modified. It must be cited as mentioned at the end of the article or in the journal website.*



## I. Partie introductive

Déjà en 1764, Cesare Beccaria écrivait : « La peine de mort est nuisible par l'exemple qu'elle donne. »<sup>1</sup>. Depuis lors, le débat n'a cessé de se développer, même si la réglementation de la peine capitale a mis du temps à voir le jour. Il faudra en effet attendre la fin de la seconde guerre mondiale pour que ce débat s'inscrive dans des textes juridiques. La Déclaration universelle des droits de l'homme du 10 décembre 1948 commence par affirmer le droit à la vie. Puis, les quatre Conventions de Genève du 12 août 1949 qui seront complétées par deux protocoles additionnels en 1977 viennent mettre en place un « standard minimum » de protection de la personne en limitant le recours à la peine de mort<sup>2</sup> et en encadrant les conditions dans lesquelles elle peut être prononcée<sup>3</sup>. Mais, ces règles ne s'appliquent qu'en cas de guerre, une protection plus globale nécessitait donc d'être mise en œuvre. Des textes ont alors été adoptés tant au niveau européen qu'au niveau international. Au niveau européen, la Convention européenne de sauvegarde des droits de l'homme et des libertés fondamentales, adoptée en 1950 puis complétée par des protocoles additionnels, vient encadrer le recours à la peine de mort puis en 1983 l'interdire en temps de paix et en 2002 aussi en temps de guerre

Au niveau international, la même évolution en faveur du mouvement abolitionniste a pu être observée. Le Pacte international relatif aux droits civils et politiques de 1966 reprend la conception européenne du droit à la vie et vient encadrer le recours à la peine de mort. Ce Pacte sera complété en 1989 par un

deuxième protocole facultatif visant à abolir la peine de mort en tout temps. A également été adoptée, en 1989, la Convention internationale relative aux droits de l'enfant qui interdit la peine de mort à l'encontre des mineurs et, l'O.N.U a souligné à plusieurs reprises sa volonté de voir la peine de mort abolie dans le monde. Quel que soit l'échelon, ces textes montrent donc le développement du courant abolitionniste sur la scène internationale. Et, bien que ces textes, pour certains ne s'appliquent qu'à l'échelon européen, pour d'autres n'ont pas de valeur contraignante, ils ont un réel poids politique au sein des relations entre les États. Par ailleurs, il y a des associations qui luttent contre la peine de mort telles que « Ensemble contre la peine de mort », « Amnesty International » ...Ces O.N.G ont montré au sein de leur action qu'aucune preuve scientifique n'avait été apportée à l'effet dissuasif de la peine de mort. Ceci cumulé avec le double objectif qu'est censé revêtir une peine, à savoir punir et réinsérer, rend peu admissible et logique le recours à la peine de mort. Sans oublier que des études ont aussi démontré que recourir à la peine de mort aujourd'hui coûtait parfois plus cher qu'un emprisonnement à vie. Toutes ces interventions ont eu un impact considérable puisqu'aujourd'hui, la grande majorité des États est abolitionniste, c'est-à-dire ne pratiquant pas la peine de mort en temps de paix. La peine de mort n'est maintenue, dans la pratique, que dans 55 pays, et seuls 23 ont procédé à des exécutions en 2017. Pour autant la peine de mort continue d'exister, puisque, au moins 2591 personnes ont été condamnées à mort dans 53 pays en 2017 et au moins 9993

<sup>1</sup> C. BECCARIA, *Des délits et des peines* (1764), Flammarion, Paris, 1991, p. 136.

<sup>2</sup> La peine de mort est interdite pour les mineurs de moins de 18 ans, les femmes enceintes et les enfants en

bas âge.

<sup>3</sup> Il faut une condamnation issue d'un véritable tribunal par exemple.





exécutions ont été recensées. Ajoutons à ceci, qu'il a été souligné que la peine capitale était bien souvent prononcée suite à un procès ne répondant pas aux critères du procès équitable, et suite à l'obtention d'aveux arrachés par torture. Depuis plusieurs années, la Chine est considérée comme « championne du monde » en matière de peine de mort. Amnesty International a estimé à plusieurs milliers le nombre d'exécutions en Chine<sup>4</sup>. Il convient donc de s'interroger sur les raisons culturelles et historiques faisant de la Chine un État non abolitionniste, position aujourd'hui minoritaire et souvent condamnée sur la scène internationale ; tout en soulignant, malgré tout, les évolutions conséquentes qu'a connues la réglementation de la sentence capitale depuis la mort de Mao<sup>5</sup>.

## II. La Chine, un pays non abolitionniste

La peine de mort étant présente en Chine depuis plusieurs siècles (A), ce châtement n'a pas, pour l'heure, été interdit par la loi (B).

### 1. Une pratique répressive inscrite dans l'histoire de la Chine

Bien que certaines minorités nationales vivant en Chine, comme le peuple tibétain, les yi ou le peuple mongol, sont plutôt orientées vers le rachat de la vie, la majorité des 56 ethnies<sup>6</sup> dont les Han qui sont les plus nombreux et représentent 90% de la population, connaissent un esprit de vengeance au prix de la vie. De ce fait, la tradition juridique chinoise est marquée par l'existence de châtements corporels pour

<sup>4</sup> Les données chiffrées qui précèdent sont fournies par le rapport d'Amnesty International, « Condamnations à mort et exécutions en 2017 », 2018, 64 p.

<sup>5</sup> Mao Zedong (1893-1976) est un président du parti communiste de Chine.

sanctionner toute violation de la loi. La peine capitale était ainsi très régulièrement prononcée, d'où la réputation pour la Chine d'être un pays cruel envers les criminels. Puisqu'elle reste l'un des rares pays pratiquant aujourd'hui la peine de mort, et que le nombre de personnes condamnées et/ou exécutées est plus que conséquent, cette réputation reste d'actualité.

Cette situation s'explique en partie avec l'histoire de la Chine. En effet, le siècle dernier, en plus d'avoir été marqué par la seconde guerre mondiale, a été l'objet de multiples guérillas, guerres civiles... et a connu la mise en place d'un régime politique<sup>7</sup> particulier où la peine de mort est restée une arme de poids face aux opposants politiques.

Par ailleurs, le peuple reste très majoritairement favorable à la peine de mort. Un sondage réalisé en 2002 montre que 88% de la population est favorable au maintien de cette peine. Ainsi, bien que le mouvement abolitionniste se développe, et que de nombreux professionnels du droit, intellectuels, ... se montrent plus favorables à la limitation voire à la suppression de ce châtement, l'absence de volonté politique et populaire conduit inévitablement à l'autorisation d'une telle pratique par les textes normatifs en vigueur.

### 2. La peine de mort, une pratique permise par la loi

S'il existe des exceptions sur certaines parties du territoire comme Hong Kong, Macao et Taïwan, sur la majorité du territoire,

<sup>6</sup> Une ethnie est une population qui considère avoir en commun une histoire et une culture.

<sup>7</sup> Le régime politique d'un État désigne l'organisation des pouvoirs au sein de cet État.





la peine de mort reste largement autorisée et pratiquée.

Plus de 46 infractions restent punissables par la peine de mort, dont de nombreuses pour des crimes non violents, comme le trafic de stupéfiants. La Chine luttant de manière sévère contre le trafic de drogues n'hésite pas à condamner à mort des étrangers, y compris des citoyens européens<sup>8</sup> ou canadiens comme a pu le montrer l'actualité récente<sup>9</sup>.

Mais, le nombre d'infractions punissables de la sentence capitale n'est pas la seule raison au nombre important de condamnations à mort. Celui-ci est dû à plusieurs facteurs. Tout d'abord, en cas de décès de la victime, au nom de la logique « rendre une vie pour une vie », le tribunal penche automatiquement vers la peine de mort et il doit se justifier s'il ne prononce pas cette peine. Ensuite au lieu de bénéficier de la présomption d'innocence<sup>10</sup>, en pratique, les accusés doivent apporter la preuve qu'ils ne sont pas coupables et il existe de nombreuses violations aux règles du procès équitables.

Toutefois, depuis 1979, la peine de mort est interdite pour les mineurs et depuis 2011 il existe une exemption pour les personnes âgées de plus de 75 ans. Par ailleurs, le plus souvent, la peine de mort n'est pas prévue comme peine unique, mais uniquement comme la peine la plus grave. Et, dans certains cas, la peine peut être moins sévère.

Cependant, le prononcé de cette peine reste sans issue, les condamnés à mort n'étant pas autorisés à faire appel de cette décision.

### III. La Chine, un pays encadrant pas à pas la peine de mort

La Chine a connu de grandes avancées pour la diminution du recours à la peine de mort (A) mais, pour autant, elle ne s'oriente toujours pas vers l'abolition de cette pratique (B).

#### 1. L'existence de timides avancées au niveau de la loi

L'encadrement de la peine de mort en Chine est loin d'avoir été simple. A chaque avancée législative en faveur d'une limitation au recours de la peine de mort a fait suite un retour en arrière, plus ou moins marqué.

Par exemple, en 1979, la loi ne permettait le recours à la peine de mort que pour 28 crimes. En 1996, cette possibilité existait pour 80 crimes avant d'être réduite à 46 crimes en 2019.

#### 2. L'espoir d'une abolition prochaine

Bien que des avancées aient pu être observées notamment dans la protection des accusés, pour que cette évolution continue, il faudra une volonté politique plus importante, et une évolution des mentalités, le peuple étant largement favorable à la peine de mort. Mais, l'implication de la Chine sur le plan

<sup>8</sup>En 2009, était ainsi condamné Akmal Shaikh, citoyen britannique d'origine pakistanaise, situation qui avait suscité une réaction internationale. La Chine n'avait plus exécuté de ressortissant européen depuis 1951.

<sup>9</sup>En 2019, la Chine vient de condamner un canadien à la peine capitale pour trafic de drogue quitte à aggraver

des relations diplomatiques déjà tendues entre Pékin et Ottawa.

<sup>10</sup>Cela signifie que tant qu'une personne n'est pas jugée coupable, elle doit être considérée comme innocente.





international pourrait avoir un impact important sur son encadrement.

Premièrement, la Chine signe des traités internationaux et les pressions internationales devraient conduire la Chine à intégrer les normes internationales dans la loi. Cela implique une meilleure protection des droits et un encadrement plus strict au niveau de la peine de mort.

Deuxièmement, beaucoup d'intellectuels chinois ont souligné l'importance d'un débat public autour de l'usage de la peine capitale afin de faire évoluer le droit et les pratiques. Cependant, l'État chinois gardant secrets les chiffres relatifs aux condamnations à mort ou exécutions le débat reste faussé.

D'ailleurs, l'absence de bonne volonté de la Chine dans la diffusion des données

concernant la peine de mort montre que l'abolition n'est pas pour tout de suite et que seul un encadrement progressif est possible actuellement. Elle s'est en outre, le 12 février 2009, opposée à l'ONU concernant la peine de mort. Alors que l'ONU est favorable à l'abolition de la peine de mort, la Chine souligne que chaque État a le droit de choisir son système politique, économique, social et culturel, sans aucune forme d'intervention étrangère. Au niveau national, plusieurs politiques se sont également prononcées contre une possible suppression de la peine de mort.

S'interroger sur l'encadrement de la peine de mort en Chine permet donc de souligner les avancées qu'elle a connues sur ce sujet, mais qu'au regard des spécificités chinoises et de l'état d'esprit actuel ce pays n'abolira pas la peine de mort pour l'instant.

**Ont participé au travail d'écriture de cet article, en collaboration avec Barbara Goncalves, chercheuse en droit (par ordre alphabétique) :** Hafsa Aboudalcamidou, Ilyas Amazigh, Najouie Andaloussi, Louane Antunes, Beyza Dalyan, Arelsa Dorcaj, Lilou Fontes, Rayan Hennebique, Jasmin Jonuzi, Seyma Kara, Khabira Khadissova, Kawtar Lamzouri, Mehdi Miftah, Hanife Sahin, Mehdi Souissi, Justine Tartrau, Gizem Temiztürk, Semih Celik, Sofiane Slilou.

**Comment citer cet article :** Barbara Goncalves et la 3<sup>ème</sup>4 du collège Albert Camus (Clermont-Fd (Fr)), *Interrogations et espoirs sur l'usage de la peine de mort en Chine*, Journal DECODER, 2019-05-29



# Un algorithme pour détecter les choix passés qui impactent les choix futurs

Benjamin Dalmas<sup>1</sup> (enseignant-chercheur) et la classe de 3<sup>ème</sup> du collège Albert Camus de Mmes Chaumeil et Le Gac<sup>2</sup> (la liste des élèves est mentionnée en fin d'article)

**Article original/Original article:** Benjamin Dalmas, Philippe Fournier-Viger, Sylvie Norre, *TWINKLE : A Constrained Sequential Rule Mining Algorithm for Event Logs* », 21st KES International Conference, 2017

**Institution :** <sup>1</sup> Centre Ingénierie Santé - Mines Saint-Etienne, 10 rue de la Marandière 42270 Saint-Priest-en-Jarez  
<sup>2</sup> Collège Albert Camus, Rue du Sous-marin Casabianca 63000 Clermont-Ferrand



## Résumé :

Lorsque l'on essaye de définir un parcours de soins "standard" à l'hôpital, il faut faire appel à des méthodes qui agrègent chaque parcours de chaque patient en un parcours unique, une sorte de "résumé". Cet exercice est souvent compliqué à cause de la nature aléatoire des parcours de soins. En matière de santé, il arrive que les choix que l'on a fait dans le passé (ex : prendre des médicaments) impactent les choix que l'on va faire dans le futur (ex : possibilité d'opération). Ces relations se perdent durant l'étape d'agrégation. Nous allons voir qu'il est possible de les retrouver.

## Mots clés :

Parcours de soins/règles d'association/rerelations/interventions

1

Article en accès libre sous licence Creative Commons (CCAL) : cet article est en téléchargement et diffusion libre sans but commercial ni modification et doit être cité comme mentionné en fin d'article ou sur le site du journal.

Free access article under Creative Commons licence: this article can be downloaded and shared without any commercial purpose and cannot be modified. It must be cited as mentioned at the end of the article or in the journal website.



## I. Contexte

Un virage mal négocié en ski, une glissade dans les escaliers ou encore une chute à vélo, on a tous déjà expérimenté les désagréments d'une blessure. Parce qu'un bras cassé ou une entorse à la cheville est si vite arrivé, rares sont ceux qui n'ont jamais mis les pieds à l'hôpital ! Et quand vous vous rendez à l'hôpital, souvent vous y passez beaucoup de temps. Vous attendez des heures aux urgences pour finalement ne voir un médecin que quelques minutes (secondes) ? Vous vous dites "*tout ça pour ça*", "*ce n'est pas normal d'attendre autant*" ou encore "*tout ce monde aux urgences...*" ?

Et bien nous aussi.

Si on devait trouver les facteurs qui expliquent ce problème, on parlerait du nombre important de patients à l'hôpital ou du manque de personnel médical pour prendre en charge toutes ces personnes. Mais le principal coupable dans tout ça, c'est la santé elle-même. Et oui, lorsqu'on juge le système de santé en général, on regarde souvent ce qui nous arrive *seulement à nous*. Faire un scanner et un plâtre pour un bras cassé, ça ne semble pas hyper compliqué à gérer après tout, ça devrait filer droit à l'hôpital. Mais si on prend un peu de recul, et que l'on regarde ce qu'il se passe pour toutes les personnes qui ont eu un bras cassé, et bien ce n'est plus du tout la même chose. Alors que vous avez eu juste à faire un scanner et poser un plâtre, d'autres patients ont peut-être eu des complications et ont dû subir d'autres interventions.

En fait, ça va dépendre de beaucoup de facteurs, tels que votre *état de santé*, votre *situation familiale* ou encore *vos activités*

*quotidiennes*. Et tout cela, c'est spécifique à chaque personne. On remarque donc un **phénomène aléatoire** dans la prise en charge des patients. Et dans le domaine de la santé, on n'aime pas beaucoup l'aléatoire. L'idée que tout ne se passe pas de la même manière quand il s'agit de soigner des êtres humains, ce n'est pas la meilleure situation pour être efficace.

Pour tout problème de santé (maladie, fracture,...), on va appeler "**parcours de soins**" l'ensemble des interventions effectuées pour résoudre ce problème. Pour illustrer ce concept, prenons comme exemple trois patients : *Pierre Le Bon*, *Paul La Brute* et *Jacques Le Truand*. Tous les trois sont arrivés aux urgences en même temps pour un bras cassé, mais ont eu des expériences différentes.

Si on regarde le parcours de Pierre Le Bon, il a été admis aux urgences et a vu un médecin. Il a ensuite effectué un scanner pour finalement se faire poser un plâtre. Enfin, il a pu repartir chez lui. On suppose donc que ce parcours de soins est celui suivi par toutes les personnes qui viennent aux urgences pour un bras cassé. Pour vérifier, on va regarder celui des autres patients.

Pour Paul La Brute, le parcours est similaire à celui de Pierre, à l'exception près qu'il n'a pas eu besoin de plâtre car ce n'était pas si grave. Il est donc reparti chez lui juste après le scanner.

Enfin, Jacques le Truand a suivi le même parcours que Paul, mais a été examiné par une infirmière et non un médecin.

On remarque donc que chaque patient a un parcours de soins différent qui lui est propre. Dans cet exemple il n'y a que 3 patients, mais lorsqu'il y en a des milliers, cela devient très compliqué pour les médecins de s'y retrouver

2

Article en accès libre sous licence Creative Commons (CCAL) : cet article est en téléchargement et diffusion libre sans but commercial ni modification et doit être cité comme mentionné en fin d'article ou sur le site du journal.

Free access article under Creative Commons licence: this article can be downloaded and shared without any commercial purpose and cannot be modified. It must be cited as mentioned at the end of the article or in the journal website.



et de savoir qui a fait quoi ! Pour simplifier leur compréhension, on va *agrèger tous les parcours de soins en un seul* et créer un **“parcours général”**, qui représente le parcours de soins suivi par la majorité des patients.

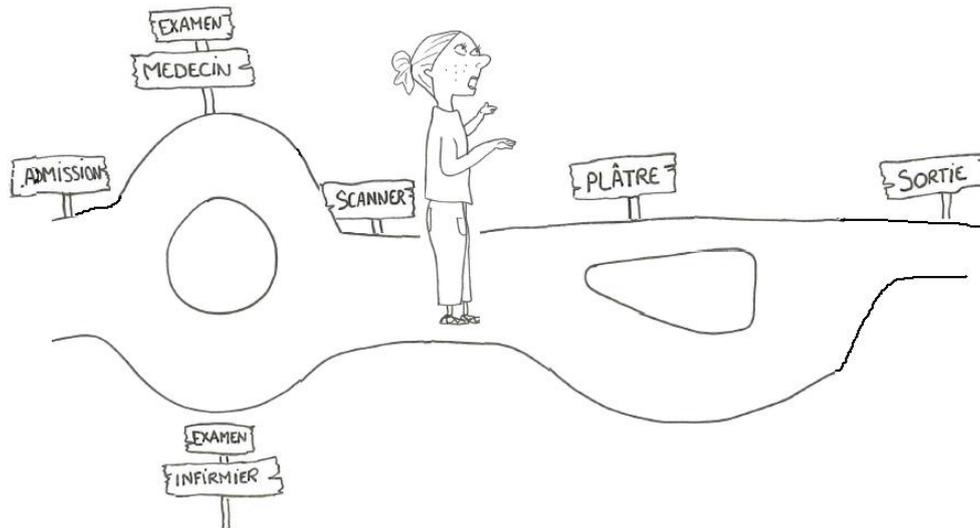


Figure 1: Parcours de soins généralisé

Pour notre exemple du bras cassé, ce parcours ressemble à celui montré dans la Figure 1. On remarque que les trois parcours de soins sont agrégés en un seul, une sorte de “résumé”. Cette version du parcours de soins pour les patients avec un bras cassé est plus compréhensible pour les médecins que tous les parcours individuels. Par contre, on peut voir que cette méthode d’agrégation a un

inconvenient majeur. Si on reprend le parcours présenté dans la Figure 1, il est possible de réaliser les quatre parcours présentés dans le Tableau 1. Parmi eux, on retrouve bien sûr les parcours individuels de nos trois patients Pierre, Paul et Jacques : se sont les trois premiers. Mais il est aussi possible de réaliser un autre parcours



	<b>Pierre</b>	<b>Paul</b>	<b>Jacques</b>	<b>Inconnu</b>
1	Admission Urgences	Admission Urgences	Admission Urgences	Admission Urgences
2	Exam. médecin	Exam. médecin	Exam. infirmière	Exam. infirmière
3	Scanner	Scanner	Scanner	Scanner
4	Plâtre	Sortie	Sortie	Plâtre
5	Sortie			Sortie

Tableau 1 : les différents parcours réalisables à partir du “résumé” de la Figure 1.

Mais pourquoi un parcours qui n’a pas été observé chez nos patients apparaît dans le parcours général ? Et bien ce phénomène est un *effet de bord* de l’agrégation : en voulant généraliser, on perd le détail des parcours individuels. La raison ? Tout simplement parce que dans le parcours, *il y a des choix* (van der Aalst, 2016). Plus particulièrement, il y en a deux :

-être examiné par un médecin ou une infirmière

-se faire poser un plâtre ou non

Plus il y a de choix, plus il y aura de chance que le parcours général soit composé de parcours qui n’ont jamais été observés. Et bien qu’un parcours général soit facile à analyser et apporte beaucoup d’information, ces “faux parcours individuels” peuvent induire en erreur, et cela peut être assez problématique lorsque le parcours prend en charge des patients atteints de maladies graves.

## II. Présentation du problème

Dans cet article, on propose une méthode pour éliminer ces “faux parcours” qui polluent l’analyse. Pour faire cela, on va utiliser une technique en informatique qui s’appelle : *les règles d’association* (Agrawal, Imieliński, & Swami, 1993).

Une règle d’association est une méthode populaire dont l’objectif est de découvrir des liens entre les données. Une règle d’association est notée  $r: X \rightarrow Y$ , où X et Y sont des ensembles d’interventions dans notre cas. L’objectif est de savoir si les interventions contenues dans X ont un impact sur les interventions contenues dans Y.

Pour illustrer ce concept un peu flou, prenons un exemple issu du parcours de soins des patients avec un bras cassé présenté dans le Tableau 1. Dans ce parcours, on peut vouloir savoir si les patients qui ont été examinés par un médecin ont aussi eu un plâtre. Cette règle,

4

Article en accès libre sous licence Creative Commons (CCAL) : cet article est en téléchargement et diffusion libre sans but commercial ni modification et doit être cité comme mentionné en fin d’article ou sur le site du journal.

Free access article under Creative Commons licence: this article can be downloaded and shared without any commercial purpose and cannot be modified. It must be cited as mentioned at the end of the article or in the journal website.





elle s'écrit :

$$r : \{\text{exam. médecin}\} \rightarrow \{\text{plâtre}\}$$

On évalue l'importance d'une règle d'association  $r$  en mesurant sa "**confiance**", notée  $\text{conf}(r)$ . La confiance est égale au nombre de patients qui ont exécuté  $X$  et  $Y$  (on appelle ça le support de  $XY$ , noté  $\text{sup}(XY)$ ), divisé par le nombre de patients qui ont exécuté  $X$  avec ou sans  $Y$  (on appelle ça le support de  $X$ , noté  $\text{sup}(X)$ ), soit :  $\text{conf}(r) = \text{sup}(XY)/\text{sup}(X)$

Dans notre exemple,  $\text{conf}(r)$  est donc égale au nombre de patients qui ont vu un médecin et eu un plâtre, divisé par le nombre total de patients qui ont vu un médecin. La confiance de la règle est donc égale à  $\text{conf}(r) = 1/2 = 0,5$

Plus une confiance tend vers 0, plus la règle est faible. Dans notre cas, cela signifierait que le fait de voir un médecin n'a pas spécialement d'impact sur le fait de poser un plâtre. A l'inverse, plus une règle a une confiance qui tend vers 1, plus la règle est forte et signifie qu'une auscultation par un médecin a de forte chance de se terminer par une pose de plâtre. Il nous suffit juste de définir un seuil de confiance minimum entre 0 et 1 pour indiquer à partir de quand une règle est intéressante pour nous.

Le nombre d'interventions comprises dans  $X$  et  $Y$  n'est pas limité. Par exemple, on peut définir une règle  $r : \{\text{admission + exam. médecin}\} \rightarrow \{\text{plâtre}\}$ .

C'est grâce aux règles d'association que l'on va pouvoir détecter les "faux parcours". Comment ? Et bien quelle est la confiance de la règle  $r : \{\text{exam. infirmière}\} \rightarrow \{\text{plâtre}\}$  ? Elle est égale à 0, cela signifie qu'aucun patient a été examiné

par une infirmière et s'est ensuite fait poser un plâtre. Ce "parcours" n'est donc a priori pas possible, et cela tombe bien, car c'est notre parcours inconnu ! La technique des règles d'association est donc très utile pour répondre à notre problématique. Bien sûr, tout n'est pas rose et on va se heurter à quelques obstacles.

On se rend vite compte que le nombre de règles que l'on peut créer peut être grand. Dans notre exemple il y a 6 interventions, le nombre de règles possibles est égal à 716. Mais si l'on passe à 10 interventions (soit juste 4 de plus) et bien le nombre de règles possibles passe à 59 028 ! Et si on a 100 interventions, on passe à environ  $5,5 \times 10^{47}$  !

Le nombre augmente donc très vite et même pour un ordinateur puissant, ça devient très long à calculer.

### III. Méthode de résolution

Notre objectif est donc clair : réduire au maximum le nombre de règles à calculer.

Et pour cela on va utiliser une caractéristique de la mesure de support : sa propriété anti-monotone ! Illustrons cette propriété : si l'on prend deux interventions  $A$  et  $B$ , alors le support de  $A$ ,  $\text{sup}(A)$ , (le nombre de patient qui a effectué  $A$ ) sera forcément supérieur ou égal au support de  $AB$ ,  $\text{sup}(AB)$ , (le nombre de patients qui ont effectué  $A$  et  $B$ ). Par exemple,  $\text{sup}(\text{exam. médecin}) \geq \text{sup}(\text{exam. médecin} + \text{plâtre})$  car  $2 \geq 1$ .

Rappelez-vous, la confiance d'une règle  $r: X \rightarrow Y$  est égal à  $\text{conf}(r) = \text{sup}(XY)/\text{sup}(X)$ . Donc si l'on rajoute des interventions dans  $Y$ ,  $\text{sup}(XY)$  va diminuer ou rester égal. Par conséquent,  $\text{conf}(r)$  va aussi diminuer ou rester égal, étant donné

5

Article en accès libre sous licence Creative Commons (CCAL) : cet article est en téléchargement et diffusion libre sans but commercial ni modification et doit être cité comme mentionné en fin d'article ou sur le site du journal.

Free access article under Creative Commons licence: this article can be downloaded and shared without any commercial purpose and cannot be modified. It must be cited as mentioned at the end of the article or in the journal website.





que le numérateur (le XY) diminue ou reste égal, et que le dénominateur (le X) reste le même. Toujours sur le même exemple :

$\text{conf}(r1 : \{\text{admission}\} \rightarrow \{\text{exam. médecin}\}) = 2/3 \approx 0,66.$

$\text{conf}(r2 : \{\text{admission}\} \rightarrow \{\text{exam. médecin + plâtre}\}) = 1/3 \approx 0,33.$

On voit donc que  $\text{conf}(r1) \geq \text{conf}(r2)$ . Si on définissait le seuil de confiance minimum à 0,5, et bien r1 serait considérée “une bonne règle” et r2 serait considéré “mauvaise” car elle a une confiance trop petite.

C’est donc cette propriété anti-monotone qui va nous aider à réduire considérablement le nombre de règle à calculer et ne choisir que les bonnes !

#### IV. Protocole expérimental et résultats

Pour vérifier que notre technique marchait bien, on l’a testée dans un vrai hôpital, en prenant le parcours de soins des personnes âgées qui avaient été admises aux urgences pour insuffisance cardiaque. L’objectif était de voir si les interventions qu’ils subissaient au début de leur prise en charge avaient un impact sur leur retour à l’hôpital plus tard dans l’année. Il fallait donc trouver quelles séquences d’interventions semblaient être synonymes de retour à l’hôpital. Dans cet exemple il y a 16 Interventions, le nombre total de règles possibles est égal à 43 046 688 !

Nous avons exécuté notre algorithme dans lequel nous avons utilisé les mesures de support et de confiance (et leur propriété anti-monotone) pour éliminer les règles

inutiles, mais aussi d’autres mesures comme le temps écoulé entre deux interventions, ou le coût de chaque intervention. Mais nous ne nous attarderons pas sur ces détails ici.

Les résultats ont été très positifs ! Nous avons calculé seulement 21 521 règles, ce qui signifie que notre algorithme a éliminé plus de 99,9% des règles !

#### V. Conclusion

On a présenté dans la première partie le contexte des parcours de soins ainsi que les raisons pour lesquelles il était utile d’avoir un parcours “général” qui représente la majorité des patients. On a ensuite montré que ce parcours comprenait souvent des “erreurs” dues à l’agrégation des parcours individuels et on a présenté l’idée d’utiliser les règles d’association pour résoudre ce problème. Comme le nombre de règles d’association possible devient rapidement très grand et très longues à calculer, la partie suivante a introduit une méthode qui accélère le calcul en réduisant le nombre de règle. Enfin, dans la dernière partie on a montré que cette technique améliorée a été testée sur une application réelle dans un hôpital et que les résultats ont été très satisfaisant.

Bien sûr, il existe d’autres problèmes avec les règles d’association que nous n’avons pas résolu. Par exemple, nous avons calculé l’impact de voir un médecin sur la pose d’un plâtre. Mais il serait aussi intéressant de calculer l’impact de voir un médecin sur la non-pose d’un plâtre. Cette différence qui peut sembler infime, voire simple à mesurer, et en fait un problème très complexe. Cela fera peut-être partie de nos recherches futures





## **Références :**

Agrawal, R., Imieliński, T., & Swami, A. (1993). *Mining association rules between sets of items in large databases*. 22, 207-216. ACM.

van der Aalst, W. (2016). Data Science in Action. In W. van der Aalst (Éd.), *Process Mining : Data Science in Action* (p. 3-23). [https://doi.org/10.1007/978-3-662-49851-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-662-49851-4_1)

**Ont participé au travail d'écriture de cet article, en collaboration avec Benjamin Dalmas, enseignant-chercheur en informatique (par ordre alphabétique) :** Liste non fournie.

**Comment citer cet article :** Benjamin Dalmas et la 3<sup>ème</sup> du collège Albert Camus (Clermont-Ferrand (Fr)), *Un algorithme pour détecter les choix passés qui impactent les choix futurs*, Journal DECODER, 2019-05-29.



# Une approche physique pour comprendre la croissance des plantes dans l'espace

Lucie Poulet<sup>1</sup> (chercheuse) et la classe de Terminale de l'Institution Sévigné de Mme Dugat<sup>2</sup>

**Article original/Original article:** L. Poulet, J.-P. Fontaine, and C.-G. Dussap (2018) A Physical Modeling Approach for Higher Plant Growth in Reduced Gravity Environments, *Astrobiology*, 18:9, 1093-1100, DOI: <http://doi.org/10.1089/ast.2017.1804>

**Institution :** <sup>1</sup>NASA Kennedy Space Center, Florida, USA  
<sup>2</sup>Institution Sévigné St Louis, 63500 Issoire, France

## Résumé

Inclure des plantes dans les systèmes support-vie permet simultanément la production de nourriture et le recyclage de l'eau et de l'air. Pour comprendre et prédire le comportement des plantes pour une large gamme de paramètres environnementaux (par exemple : la température, la ventilation, la gravité), un modèle mécanistique est développé. L'accent ici est mis sur les influences respectives des niveaux de gravité (impesanteur, martienne, lunaire, terrestre) et de la convection forcée sur les échanges gazeux au niveau des feuilles (c'est-à-dire, la photosynthèse). Cette étude souligne l'importance d'étudier la couche limite, le but final étant de développer un modèle mécanistique complet de la croissance des plantes dans des environnements de gravité réduite.

## Mots clés

Systèmes support-vie biorégénératifs ;  
Modèle mécanistique ; Echanges gazeux ;  
gravité réduite ; Plantes ; Espace ;  
Écosystème artificiel ; Flux d'énergie

## 1. Contexte

Un systèmes support-vie (LSS<sup>1</sup>) permet d'assurer les besoins vitaux des astronautes lors des missions spatiales : apport d'air respirable, d'eau potable, de nourriture et de traitement des déchets. Pour des missions longue durée pour lesquelles l'autonomie par rapport à la Terre sera nécessaire, il faudra un LSS régénératif, capable de recycler l'air, l'eau et les déchets et de produire de la nourriture (Mitchell, 1994).

<sup>1</sup> Abrégé LSS pour Life-Support System en anglais

La seule façon de produire de la nourriture in-situ est d'incorporer des processus biologiques dans le LSS (Wheeler, 2004) - on parle alors de LSS biorégénératifs - et alors toutes les fonctions sont interconnectées, comme c'est le cas dans la boucle MELISSA (Micro-Ecological Life-Support System Alternative<sup>2</sup>) (voir Figure 1) développée par l'agence spatiale européenne (ESA<sup>3</sup>). C'est

un écosystème artificiel basé sur des bactéries, des micro-algues et des plantes. Pour que ce système soit robuste et fiable, il faut comprendre toute sa dynamique, en particulier être capable de prévoir combien notre système va pouvoir produire d'oxygène, d'eau et de biomasse en cas de panne (par exemple si l'éclairage s'arrête de fonctionner).

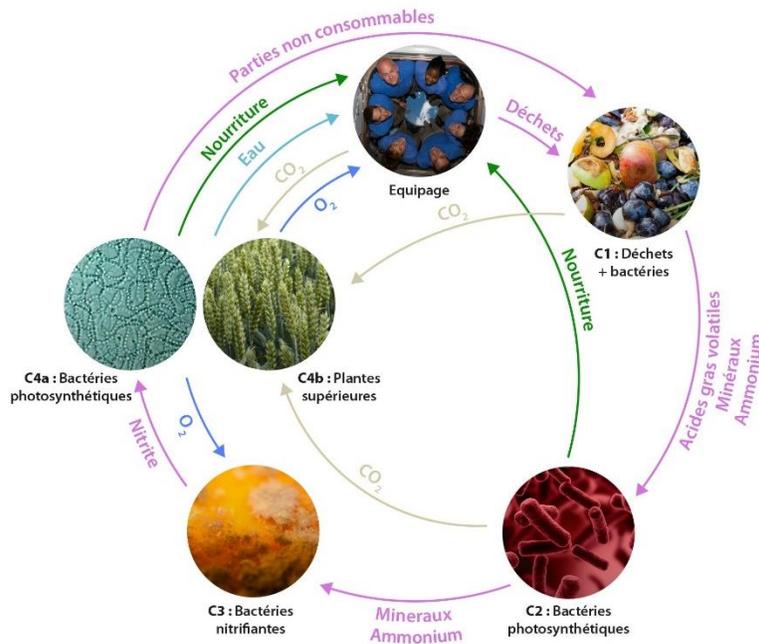


Figure 1 : Schéma de principe de la boucle MELISSA. Credits : ESA/MELISSA

C'est pourquoi nous nous intéressons ici à l'influence des environnements de gravité réduite (l'impesanteur et les gravités martienne et lunaire) sur la croissance des plantes et comment la modéliser. Des

expériences passées ont montré qu'en impesanteur, en raison de l'absence de

<sup>2</sup> Système support-vie micro-écologique alternatif

<sup>3</sup> Abrégé ESA pour European Space Agency en anglais

Article en accès libre sous licence Creative Commons (CCAL) : cet article est en téléchargement et diffusion libre sans but commercial ni modification et doit être cité comme mentionné en fin d'article ou sur le site du journal.

Free access article under Creative Commons licence: this article can be downloaded and shared without any commercial purpose and cannot be modified. It must be cited as mentioned at the end of the article or in the journal website.



convection naturelle<sup>4</sup>, des épais couches d'air stagnant se forment autour des feuilles (Kitaya, 2003), c'est la couche limite<sup>5</sup>. Lorsque cette couche limite s'épaissit, les échanges gazeux au niveau de la feuille, c'est-à-dire la photosynthèse, diminuent. Cela pourrait avoir un effet négatif sur la production de nourriture à long terme. En revanche, avec une ventilation adaptée, ces effets tendent à diminuer. Nous regardons donc les influences relatives de la convection naturelle et de la convection forcée et le lien avec l'épaisseur de couche limite, les échanges gazeux et la production de biomasse.

## **2. Protocole expérimental : modéliser les plantes ??**

### ***2.1. Vous avez dit modèle ?***

Un modèle permet de représenter un processus de manière simplifiée et formalisée, permettant de mieux le comprendre et de l'analyser, ainsi que de prévoir des tendances pour certaines conditions. Par exemple, les prévisions météorologiques sont données par des modèles complexes ; nos courbes de

croissance moyenne sont également le fruit de modèles : d'après des observations empiriques<sup>6</sup> sur une grande partie de la population, on a pu en déduire les paliers de croissance des enfants et des normes pour chaque âge de leur vie.

Il y a les variables d'entrée du modèle, qui sont les conditions de départ et il y a les variables de sortie, qui sont le résultat du modèle. Par exemple, pour une courbe de croissance les paramètres d'entrées sont l'âge et le sexe et la variable de sortie est la taille. Le domaine d'application du modèle définit les valeurs pour lesquelles le modèle est valide. En poursuivant notre exemple de courbes de croissance, le domaine d'application est (fille ; 0-1 an), (garçon ; 0-1 an), (fille ; 1-3 ans), (garçon ; 1-3 ans), etc. Si on cherche à calculer la taille d'une fille de 2 ans avec le modèle (garçon ; 1-3 ans), les résultats donnés par le modèle seront erronés. Différents types d'approches existent :

- 1- Développer un modèle dans le but de faire des prédictions précises pour des applications spécifiques et directes. Par exemple : prédire le rendement d'un champ de blé sur le mois de juin, avec une pluviométrie de 5 cm et une température moyenne de 20°C. Ces

<sup>4</sup> La convection naturelle est le résultat de l'ascension des masses d'air moins denses (air chaud) qui provoque un brassage de l'air naturellement sur Terre

<sup>5</sup> Lorsqu'un obstacle solide est placé dans un fluide en écoulement (ici l'obstacle est la feuille et le fluide est

l'air), une couche de ce fluide se forme à la surface du solide, qui a une vitesse inférieure ou égale à 99% de la vitesse du reste du fluide à l'infini (c'est-à-dire loin de l'obstacle)

<sup>6</sup> De l'expérience et de l'observation

modèles, dits empiriques, sont développés à partir de données et observations empiriques pour un domaine d'application spécifique, sans toutefois apporter de la compréhension sur les phénomènes étudiés car ils fonctionnent comme des « boîtes noires ».

- 2- Développer un modèle pour comprendre les phénomènes et mécanismes sous-jacents, en faisant le moins d'approximations empiriques possible, on parle alors de modèles de connaissance ou de modèle mécanistiques. L'approche est multi-échelle et il s'agit de traduire en équations des phénomènes physiques, chimiques et biologiques régissant le système étudié.

L'approche suivie ici est mécanistique, avec le but de comprendre les échanges gazeux des plantes en environnement de gravité réduite.

## 2.2. *Pas n'importe quel modèle !*

Le modèle ici est découpé en quatre sous-parties (Hézar, 2012), ou modules, qui correspondent aux différents niveaux d'études (voir Figure 2) :

- Un module environnemental qui gère les variations des paramètres environnementaux,

- Un module physique, pour les effets à l'échelle de l'organe. Les quantités de carbone, de dioxygène et d'eau absorbées et rejetées par la plante, résultats des échanges gazeux, y sont calculées.
- Un module biochimique pour les effets au niveau cellulaire. La production de biomasse notamment dépend de l'équation chimique de la photosynthèse et est une fonction intégrale des quantités de carbone et d'eau accumulées sur une période de temps.
- Un module morphologique qui étudie les changements au niveau de l'échelle de la plante. En première approximation, la plante est assimilée à une seule feuille circulaire, comprenant une surface foliaire, une longueur de tige et un nombre de vaisseau dans la tige. Ces variables morphologiques varient linéairement en fonction de la biomasse produite. Grâce à des paramètres d'entrée spécifiques aux espèces, ce modèle peut être adapté à toute espèce de plante.

4

Article en accès libre sous licence Creative Commons (CCAL) : cet article est en téléchargement et diffusion libre sans but commercial ni modification et doit être cité comme mentionné en fin d'article ou sur le site du journal.

Free access article under Creative Commons licence: this article can be downloaded and shared without any commercial purpose and cannot be modified. It must be cited as mentioned at the end of the article or in the journal website.

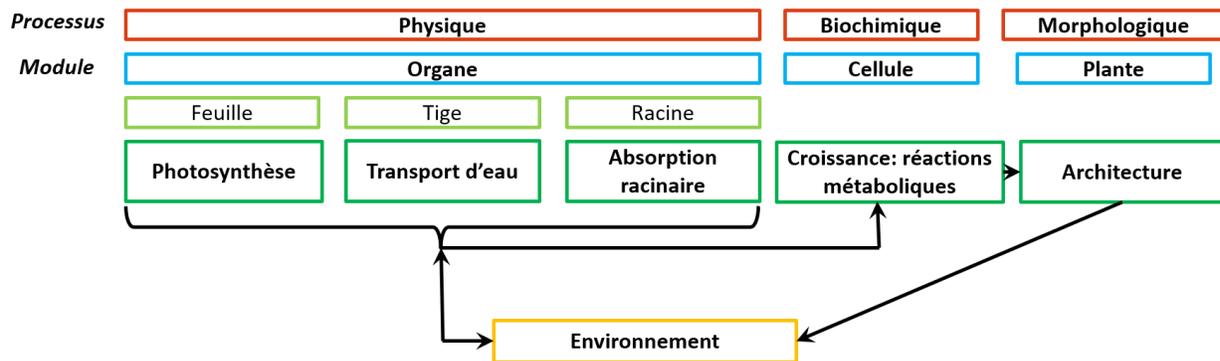


Figure 2 : Schéma de principe du modèle mécanistique de croissance de plantes.

### 2.3. Comment ça, « les échanges gazeux des plantes » ?

Les flux de matière expriment la quantité par seconde de carbone fixé, de lumière reçue par la plante, d'eau absorbée et produite. Tous les flux de matière maximums ( $\phi_X$ ) sont calculés comme étant fonction d'un coefficient de transfert ( $k_X$ ) et d'un gradient de concentrations entre l'intérieur de la feuille et l'extérieur ( $\Delta C$ ) (Beek et al., 1999) :

$$\phi_X = k_X \Delta C \quad (1)$$

Le coefficient de transfert se calcule à partir d'un coefficient de diffusion ( $D_X$ ), propre à chaque gaz, et de l'épaisseur de couche limite ( $\delta$ ) :

$$k_X = D_X \delta \quad (2)$$

Le plus petit des flux calculés à partir de l'équation (1) est appelé flux limitant. Par exemple, même si la plante reçoit une lumière

illimitée, si le flux d'eau absorbée est limitant, c'est-à-dire si elle ne peut pas absorber assez d'eau, elle ne pourra faire de la photosynthèse au-delà de ses réserves en eau (et donc fixer du carbone et produire de la vapeur d'eau). Les autres flux sont alors recalculés en fonction du flux limitant, grâce à des relations chimiques et biochimiques découlant de la réaction métabolique de la photosynthèse.

### 2.4. Mais la gravité dans tout ça ?

Pour prendre en compte la gravité dans les équations précédentes, il faut faire trois hypothèses :

- 1- L'air au-dessus de la feuille n'est pas turbulent et l'épaisseur de la couche limite peut alors s'exprimer comme une fonction de la vitesse de l'air  $V_b$  :  $\delta = f(V_b)$
- 2- La vitesse totale de l'air peut être exprimée comme une combinaison de la vitesse de convection naturelle  $V_n$

5

Article en accès libre sous licence Creative Commons (CCAL) : cet article est en téléchargement et diffusion libre sans but commercial ni modification et doit être cité comme mentionné en fin d'article ou sur le site du journal.

Free access article under Creative Commons licence: this article can be downloaded and shared without any commercial purpose and cannot be modified. It must be cited as mentioned at the end of the article or in the journal website.

et de la vitesse de convection forcée

$$V_f : V_b = h(V_n + V_f)$$

- 3- Enfin, nous faisons l'hypothèse d'un régime de convection mixte<sup>7</sup>, donc la vitesse de convection naturelle peut s'exprimer en fonction de la gravité  $g : V_n = u(g)$

On a alors :

$$\begin{aligned} \delta &= f(V_b) = f(h(V_n + V_f)) \\ &= f(h(u(g) + V_f)) = z(g) \end{aligned}$$

L'épaisseur de couche limite  $\delta$  peut s'exprimer en fonction de la gravité et donc toutes les équations précédentes régissant les échanges gazeux peuvent être calculées en fonction du paramètre de gravité. Avec :  $V_b$ , la vitesse de l'air ;  $V_n$ , la vitesse de convection naturelle ;  $V_f$ , la vitesse de convection forcée ; et  $g$ , la gravité.

### 3. Résultats et discussion

Les résultats présentés ci-dessous ont été obtenus en faisant une simulation avec le modèle précédemment décrit, avec les paramètres détaillés dans le Tableau 1.

<sup>7</sup> En convection mixte, les ordres de grandeur de la convection naturelle et de la convection forcée sont égaux

Tableau 1: Paramètres d'entrée utilisés dans les simulations

Paramètre	Valeur	Unité
Température de l'air	296	K
Intensité lumineuse	400	$\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$
Concentration en CO <sub>2</sub>	1000	ppm
Hauteur de la chambre	1	m

#### 3.1. Comment l'épaisseur de couche limite varie-t-elle en fonction de la gravité et de la convection forcée ?

Dans cette première partie, nous regardons les variations de l'épaisseur de la couche limite pour différentes valeurs de gravité (entre 0 m.s<sup>-2</sup> (impesanteur) et 9.807 m.s<sup>-2</sup> (1g, gravité terrestre)) et 5 valeurs de convection forcée. Les résultats sont donnés dans la Figure3.

Plus les valeurs de la gravité et de la convection forcée sont grandes, plus l'épaisseur de la couche limite est faible. En gravité lunaire (1.625 m.s<sup>-2</sup>) sans convection forcée, la couche limite est 50% plus épaisse qu'en gravité martienne (3.711 m.s<sup>-2</sup>). A noter qu'en gravité terrestre, la couche limite est 2 fois plus petite avec une ventilation forcée de 1m/s que sans ventilation.

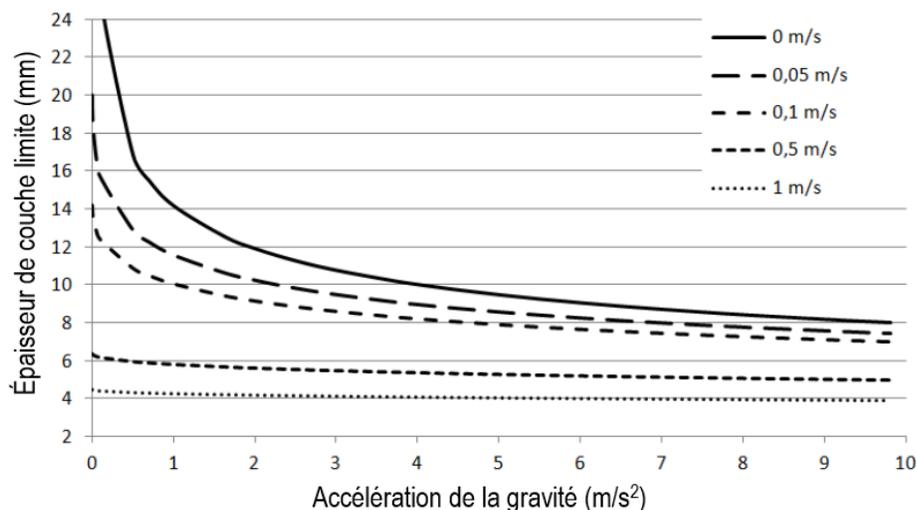


Figure 3 : Variations de l'épaisseur de la couche limite pour différentes valeurs de gravité (entre  $0 \text{ m.s}^{-2}$  (impesanteur) et  $9.807 \text{ m.s}^{-2}$  ( $1g$ , gravité terrestre)) et 5 valeurs de convection forcée : 0, 0.05, 0.1, 0.5 et 1 m/s

L'épaisseur de couche limite est plus sensible aux variations des niveaux de gravité pour de faibles niveaux de ventilation. En effet, en gravité terrestre, la vitesse de convection naturelle calculée à partir du modèle avec les paramètres d'entrée donnés ci-dessus est de  $0.3 \text{ m.s}^{-1}$  donc au-delà de cette valeur, la convection forcée prévaut sur la convection naturelle. Cela souligne l'existence d'une valeur limite pour la convection forcée en-dessous de laquelle l'épaisseur de couche limite dépend des niveaux de gravité et au-dessus de laquelle elle dépend principalement de la vitesse de convection forcée.

Ce modèle de couche limite est valable pour une seule feuille ronde et sera différent pour

une plante entière, puisque la forme de la plante est plus complexe. Pour une canopée<sup>8</sup> il faudra prendre en compte l'épaisseur de couche limite de la canopée entière.

### 3.2. Comment la production de nourriture varie-t-elle en fonction de la gravité et de la convection forcée ?

Dans cette deuxième partie, nous avons fait une simulation de la quantité de biomasse produite par une laitue sur une période de 50 jours, pour trois valeurs de gravité (impesanteur, martienne et terrestre) et trois vitesses de convection forcée (voir Figure 4).

<sup>8</sup> Partie supérieure d'un ensemble de plantes

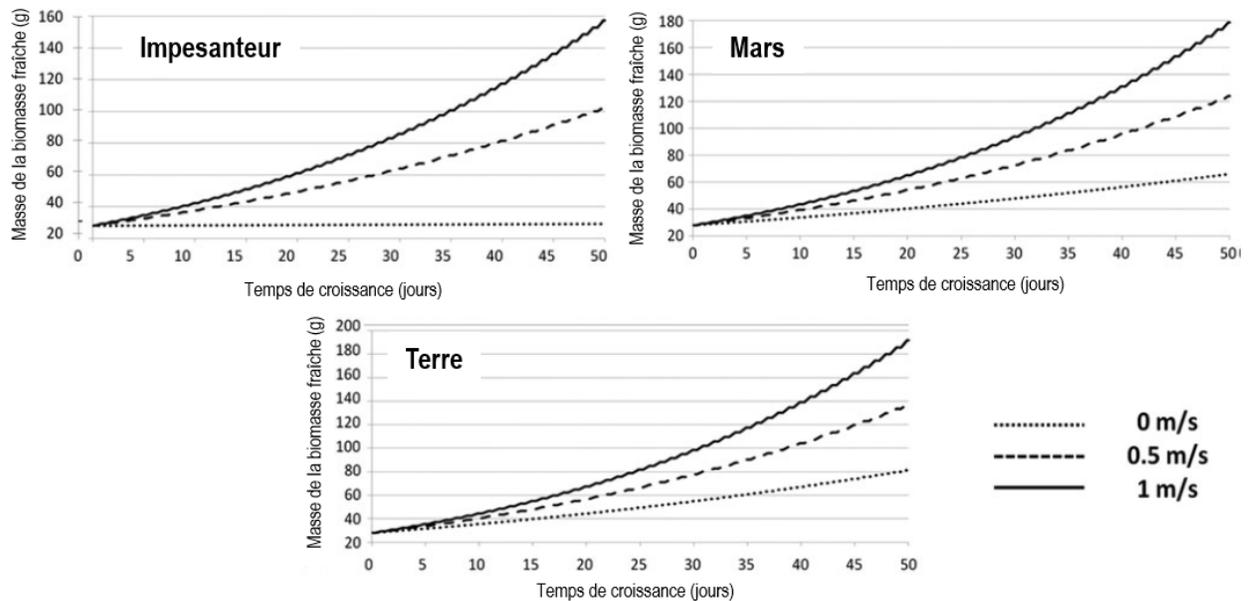


Figure 4 : Accumulation de biomasse dans le temps en impesanteur (en haut à gauche), en gravité martienne (en haut à droite) et en gravité terrestre (en bas), pour 3 vitesses de convection forcée : 0, 0.5 et 1 m.s<sup>-1</sup>.

Il est à souligner qu'en gravité terrestre, au bout de 50 jours, la production de biomasse est 2.5 fois plus importante avec une vitesse de convection forcée de 1 m.s<sup>-1</sup> que sans convection et 40% plus importante avec 0.5 m.s<sup>-1</sup>. Sans convection forcée, la production de biomasse est 25% plus importante en gravité terrestre qu'en gravité martienne. Et avec une convection forcée de 0.5 m.s<sup>-1</sup>, elle est 20% plus importante en gravité martienne qu'en impesanteur.

Ceci souligne l'importance d'ajuster la ventilation à un niveau adéquat dans des

environnements de gravité réduite, pour obtenir des rendements équivalents aux rendements terrestres. Pour prédire la quantité de nourriture qui pourra être produite lors des missions spatiales longue durée, il sera donc crucial d'étudier les relations complexes entre convection forcée, niveau de gravité et production de biomasse.

#### 4. Conclusion

Cette étude souligne l'importance d'une bonne compréhension des interactions entre la convection et de la gravité sur la couche limite, pour être en mesure de prédire de manière fiable les quantités de biomasse, d'eau et de dioxygène qui pourront être produites.

La prochaine étape sera d'ajouter un bilan énergétique à ce bilan de masse et de s'intéresser aux variations de la température de la surface des feuilles en fonction de la gravité et de la convection. Ces résultats seront validés par une expérimentation en vol parabolique et l'objectif final est d'aboutir à un modèle précis de la croissance des plantes en gravité réduite.

Kitaya, Y., Kawai, M., Tsuruyama, J., Takahashi, H., Tani, A., Goto, E., Saito, T., and Kiyota, M. (2003a) The effect of gravity on surface temperatures of plant leaves. *Plant Cell Environ* 26:497–503.

Mitchell, C.A. (1994) Bioregenerative life-support systems. *Am J Clin Nutr* 60:820S–824S.

Wheeler, R.M. (2004) Horticulture for Mars. *Acta Hort* 642:201–215.

#### Références

Beek, W.J., Muttzall, K.M.K., and van Heuven, J.W. (1999) *Transport Phenomena*, 2<sup>nd</sup> ed. Wiley, Chichester and New York.

Hézar, P. (2012) *Higher Plant Growth Modelling for Life Support Systems: Global Model Design and Simulation of Mass and Energy Transfers at the Plant Level*. PhD thesis, Doctoral School of Life Sciences, Health, Agronomy, Environment. Université Blaise Pascal, Université d'Auvergne, Clermont-Ferrand.

**Comment citer cet article :** Lucie Poulet et la classe de Terminale du lycée de l'Institution Sévigné St Louis (Issoire (Fr)), *Une approche physique pour comprendre la croissance des plantes dans l'espace*, Journal DECODER, 2019-09-22

# Réponse des plantes à l'environnement spatial : Un guide pour les futurs jardiniers de l'espace

Lucie Poulet<sup>1</sup> (chercheuse) et la classe de Terminale de l'Institution Sévigné de Mme Dugat<sup>2</sup>

**Article original/Original article:** L. Poulet, J.-P. Fontaine & C.-G. Dussap (2016) Plant's response to space environment: a comprehensive review including mechanistic modelling for future space gardeners, *Botany Letters*, 163:3, 337-347, DOI: [10.1080/23818107.2016.1194228](https://doi.org/10.1080/23818107.2016.1194228)

**Institution :** <sup>1</sup>NASA Kennedy Space Center, Florida, USA  
<sup>2</sup>Institution Sévigné St Louis, 63500 Issoire, France

## Résumé

L'étude de la croissance des plantes dans l'espace a commencé par l'étude de la faisabilité de leur croissance hors de la Terre et des différences existantes entre les plantes ayant grandi sur Terre et celles ayant grandi en orbite terrestre. Petit à petit, les systèmes de croissance se sont améliorés et on a ainsi pu différencier les effets directs et indirects de l'impesanteur. En revanche, jusqu'à présent, seules des expériences à petite échelle ont été réalisées, ce qui n'a pas permis l'acquisition de données suffisantes pour prédire avec précisions les rendements des plantes en environnements de gravité réduite. Pourtant, pour développer des systèmes support-vie qui permettront de maintenir les astronautes en vie sur les missions longue durée, il faudra envisager de la culture à plus grande échelle. De nombreux challenges restent à relever pour cultiver des plantes

dans l'espace, en ce qui concerne l'éclairage, l'arrosage, le choix des espèces, etc. et un effort important doit être développé sur la modélisation de leur croissance. Cela permettra d'apporter une compréhension plus vaste des phénomènes en jeu et un meilleur contrôle de leur croissance.

## Mots clés

Contrôle environnemental et système support-vie ; modèle mécanistique ; impesanteur ; plantes ; espace

## 1. Introduction - ou pourquoi faire pousser des plantes dans l'espace ?

La croissance des plantes dans l'espace demande une excellente compréhension de leurs mécanismes de croissance et un savoir-faire pointu en matière d'agriculture en environnement contrôlé. Des plantes

1

Article en accès libre sous licence Creative Commons (CCAL) : cet article est en téléchargement et diffusion libre sans but commercial ni modification et doit être cité comme mentionné en fin d'article ou sur le site du journal.

Free access article under Creative Commons licence: this article can be downloaded and shared without any commercial purpose and cannot be modified. It must be cited as mentioned at the end of the article or in the journal website.

© les auteurs. Journal DECODER, publié par l'association DECODER/the authors. Journal DECODER, published by DECODER association  
Journal DECODER, 2019.



poussent en orbite terrestre depuis des décennies (Porterfield 2003), mais les effets à long terme de l'environnement spatial ne sont encore pas complètement compris.

### 1.1. Les systèmes support-vie : Késako ?

La survie des astronautes dans l'espace dépend des systèmes support-vie (LSS<sup>1</sup>), qui ont pour fonction de subvenir aux besoins élémentaires des astronautes : recycler l'air et l'eau, traiter les déchets et produire de la nourriture. Sur la station spatiale internationale (ISS<sup>2</sup>), seules les deux premières fonctions sont partiellement assurées par le LSS, grâce à des méthodes physico-chimiques : un réacteur de Sabatier<sup>3</sup> et l'électrolyse de l'eau pour l'air, et des membranes de filtration pour l'urine et le condensat de l'air. Les déchets sont brûlés dans l'atmosphère terrestre et la nourriture est réapprovisionnée régulièrement par des vaisseaux cargos depuis la Terre. En effet, seuls des processus biologiques sont en mesure d'assurer la fonction de production de nourriture. On parle alors de systèmes support-vie biorégénératifs, qui nécessitent

un contrôle extrêmement précis pour être fiables et efficaces.

La recherche sur les LSS biorégénératifs a commencé dans les années 50. En ex-URSS entre 1965 et 1985, le système BIOS incluait des êtres humains, l'algue *Chlorella vulgaris* et des plantes (blé, chufa, betterave, carotte), leur fournissant la partie végétarienne de leur alimentation, qui était complétée par de la viande sèche. L'urine et les fèces n'étaient pas recyclés mais simplement stockés (Gitelson et al. 1989).

Dans les années 80, du côté américain, le programme Controlled Ecological Life-Support Systems<sup>4</sup> (CELSS) de la NASA investiguait la production et la transformation de nourriture, la nutrition, l'écologie des systèmes fermés et le traitement des déchets, notamment grâce à la Biomass Production Chamber<sup>5</sup> (BPC) du centre de la NASA Kennedy Space Center (KSC), une chambre de culture entièrement étanche avec une surface arable de 20 m<sup>2</sup> (Wheeler et al. 1996). Du côté européen, le principal projet sur les LSS régénératifs depuis 30 ans est le projet de l'agence spatiale européenne (ESA<sup>6</sup>) MELiSSA pour Micro-Ecological Life-Support System Alternative<sup>7</sup>.

<sup>1</sup> Abrégé LSS pour Life-Support System en anglais

<sup>2</sup> Abrégé ISS pour International Space Station en anglais

<sup>3</sup> Dans une réaction de Sabatier le CO<sub>2</sub> et le dihydrogène réagissent ensemble pour créer de l'eau et du méthane

<sup>4</sup> Systèmes support-vie contrôlés écologiquement

<sup>5</sup> Chambre de production de biomasse

<sup>6</sup> Abrégé ESA pour European Space Agency en anglais

<sup>7</sup> Système support-vie micro-écologique alternatif

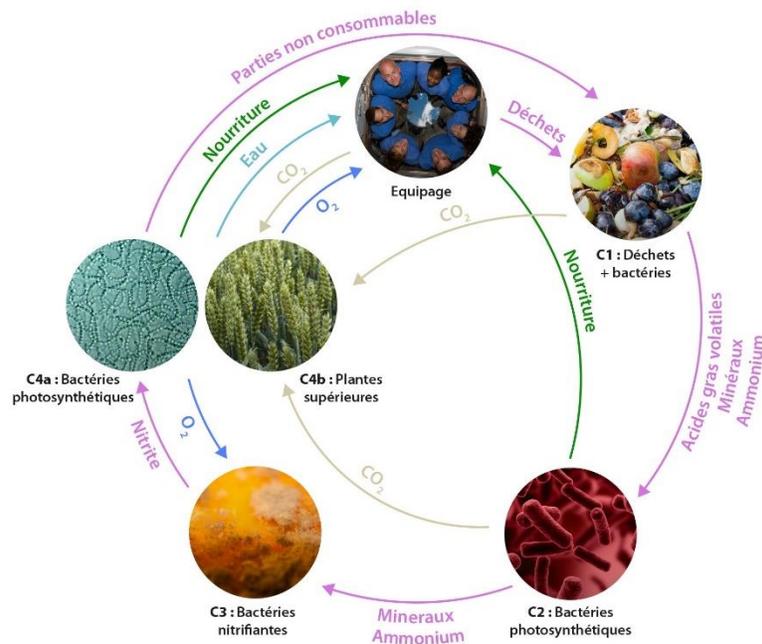


Figure 1: Schéma de principe de la boucle MELiSSA. Credits: ESA/MELiSSA

La boucle fermée MELiSSA est un écosystème artificiel qui s'inspire d'un écosystème naturel lacustre, reproduisant les différentes étapes de dégradation et transformation des déchets sous forme de cinq compartiments indépendants basés sur des bactéries, des micro-algues et des plantes (Lasseur et al. 2010) (Figure 1). Dans un environnement confiné, contrairement aux écosystèmes terrestres qui bénéficient des effets tampon des sols, de l'atmosphère ou des océans sur Terre, une petite variation de paramètres environnementaux peut avoir des répercussions dramatiques sur l'équilibre et le fonctionnement de la boucle dans son ensemble. Il est donc nécessaire de

développer des modèles mécanistiques des processus biologiques (dont la croissance des plantes) pour les comprendre en profondeur et ainsi pouvoir développer un LSS fiable.

### 1.2. Une croissance dans l'espace pour une croissance mieux comprise

Depuis les années 60, l'objectif de nombreuses expériences spatiales en biologie fondamentale a été d'étudier la croissance et le développement des plantes en orbite terrestre (Porterfield 2003). En effet cela permet d'étudier certains phénomènes en s'affranchissant de l'influence de la gravité.

3

Article en accès libre sous licence Creative Commons (CCAL) : cet article est en téléchargement et diffusion libre sans but commercial ni modification et doit être cité comme mentionné en fin d'article ou sur le site du journal.

Free access article under Creative Commons licence: this article can be downloaded and shared without any commercial purpose and cannot be modified. It must be cited as mentioned at the end of the article or in the journal website.

Au départ les chercheurs pensaient qu'un effet de l'impesanteur était une taille de plantes plus petite et que leur reproduction était affectée. Mais avec les progrès faits dans les systèmes de croissance, ces effets ont eu tendance à disparaître et il a depuis été démontré que les plantes ont une croissance quasi normale en impesanteur, si tant est que leur environnement est bien ventilé.

Après un résumé des différents effets de l'environnement spatial sur la croissance des plantes, une vue d'ensemble des systèmes de croissance est donnée et les challenges restants pour l'agriculture spatiale sont discutés.

## **2. Être une plante dans l'espace, qu'est-ce que cela implique ?**

L'absence de convection naturelle<sup>8</sup> et le confinement des environnements spatiaux ont été à l'origine de nombreux effets sur le développement des plantes, attribués en premier lieu à une réaction à l'impesanteur. Ces effets de l'environnement spatial, dits indirects, ont été peu à peu effacés avec le développement de systèmes de croissance plus adaptés. Mais il semblerait que la

---

<sup>8</sup> La convection naturelle est le résultat de l'ascension des masses d'air moins denses (air chaud) qui provoque un brassage de l'air naturellement sur Terre

réponse des plantes à l'impesanteur dépend de l'espèce et de la variété des plantes, ce qui complique la mise en évidence de schémas généraux. D'autres effets de l'environnement spatial qui ne sont pas discutés ici sont le champ magnétique et les fortes doses de radiations.

### ***2.1. Echelle de la plante***

De nombreuses expériences ont montré que la partie aérienne des plantes se développe de manière normale avec une ventilation adéquate. En revanche, les racines ne se développent pas de la même façon en impesanteur et en gravité terrestre. Sur Terre, les racines poussent en direction de la gravité (vers le bas), alors qu'en impesanteur, elles ne poussent pas en suivant une direction privilégiée, mais de manière aléatoire dans toutes les directions.

### ***2.2. Echelle de l'organe***

Les changements observés à l'échelle de l'organe sont principalement liés à des effets secondaires de l'impesanteur, dus à des changements de comportement des fluides autour des plantes.

### 2.2.1. *Prédominance des forces de tension*

Comme la force de capillarité est dominante en orbite terrestre, l'eau a tendance à rester collée autour des racines, ce qui les étouffe et empêche les plantes de pousser. Il a donc fallu développer des systèmes d'arrosage spécifiques pour les conditions d'impesanteur (aussi abrégée en 0g)<sup>9</sup>.

### 2.2.2. *Manque de convection naturelle*

L'absence de convection naturelle en impesanteur résulte en la formation d'épaisses couches d'air stagnant à la surface des feuilles des plantes, augmentant ainsi la résistance diffusive<sup>10</sup> au transport des molécules de gaz dans l'air, ce qui réduit considérablement les échanges gazeux à la surface des feuilles. Cela entraîne une diminution du taux de photosynthèse<sup>11</sup> et donc du taux de transpiration, résultant en une augmentation de la température de surface des feuilles, comme cela a été observé pendant des expériences en vol parabolique (+1°C sur des phases de 20 secondes d'impesanteur) (Kitaya et al. 2003).

<sup>9</sup> Voir paragraphe 3.1 *Arroser en 0g ?*

<sup>10</sup> La résistance diffusive caractérise la résistance au processus de diffusion, c'est-à-dire au passage de certaines molécules dans un matériau, ici les couches d'air stagnant à la surface des feuilles

<sup>11</sup> Le processus de photosynthèse apparaît en présence de lumière et consiste en l'absorption de dioxyde de

L'absence de convection naturelle entraîne aussi l'accumulation de composés organiques volatiles, comme l'éthylène, qui nuit au bon développement des plantes.

## 2.3. *Echelle cellulaire et biochimique*

### 2.3.1. *Le métabolisme secondaire*

De nombreuses études ont montré que dans des graines produites en orbite ou sur des clinostats<sup>12</sup>, la production de métabolites secondaires, qui sont notamment responsables du goût, et les réserves en amidon des graines (quantité et répartition) étaient changées. Les scientifiques pensent que cela est une réponse au stress induit par les conditions d'impesanteur sur les plantes. Cela pourrait avoir un impact fort sur les missions longue durée, où le régime alimentaire des astronautes sera basé sur des plantes.

### 2.3.2. *Croissance et division des cellules*

Lorsqu'un organisme croît, il y a d'abord division cellulaire puis croissance de ces cellules. Plusieurs études ont montré qu'en

carbone par les plantes, au rejet de dioxygène et de vapeur d'eau et en la production de glucose au sein de la plante, constituant sa biomasse (et notre nourriture)

<sup>12</sup> Machines qui simulent l'impesanteur par rotation lente sur un axe ou deux axes

impesanteur, ces deux processus seraient découplés chez les plantes et que la division cellulaire serait plus importante que la croissance cellulaire. Cela entraînerait donc des plantes avec des cellules plus nombreuses et plus petites. L'hypothèse émise pour expliquer ces changements est que cette réponse des plantes est un mécanisme de résistance à l'impesanteur.

### 2.3.3. Expression des gènes

Chez les plantes, la situation d'impesanteur résulte en une surexpression de certains gènes et une sous-expression d'autres gènes, dans des domaines différents et sans lien apparent entre eux. L'hypothèse avancée est que le transcriptome<sup>13</sup> des plantes perçoit l'impesanteur comme un nouvel environnement stressant mais qu'il manque au génome les gènes adéquats pour répondre en conséquence. Comprendre ces mécanismes d'expression génétique en impesanteur permettra de sélectionner des plantes capables de s'adapter à des environnements de gravité réduite et de

modifier génétiquement des plantes pour qu'elles s'y adaptent.

### 3. Et concrètement, comment je fais pousser mes plantes dans l'espace, moi ?

Jusqu'à présent, les expériences avec des plantes en orbite terrestre avaient principalement pour objectif de démontrer la possibilité de leur croissance et d'en étudier les mécanismes, mais pas de produire de la nourriture à grande échelle.

#### 3.1. Arroser en 0g ?

Un bon système de distribution d'eau et de nutriments doit permettre une bonne aération de la zone racinaire, tout en gardant une humidité et une concentration en nutriments adéquates. Pour des raisons de faisabilité, les systèmes à base de substrat<sup>14</sup> ont été utilisés en orbite terrestre, plutôt que des systèmes d'hydroponie<sup>15</sup> ou d'aéroponie<sup>16</sup>.

<sup>13</sup> Résultat de la lecture des gènes ; il s'agit des molécules d'ARN (Acide RiboNucléique) faisant le lien entre l'ADN et la synthèse des protéines

<sup>14</sup> Un substrat permet aux racines de se fixer et apportent les éléments nutritifs nécessaires à la plante. Communément il s'agit de la terre, mais on trouve aussi de la laine de roche ou du sable en hydroponie.

<sup>15</sup> L'hydroponie, également appelée agriculture hors-sol, consiste à cultiver des plantes dans une solution

nutritive avec ou sans un substrat neutre et inerte (i.e. qui n'apporte pas de nutriments). Les racines puisent alors les éléments directement dans cette solution.

<sup>16</sup> L'aéroponie est aussi un type de culture hors-sol mais les racines ne baignent pas dans la solution nutritive. Celle-ci est aspergée sur les racines à intervalles réguliers.

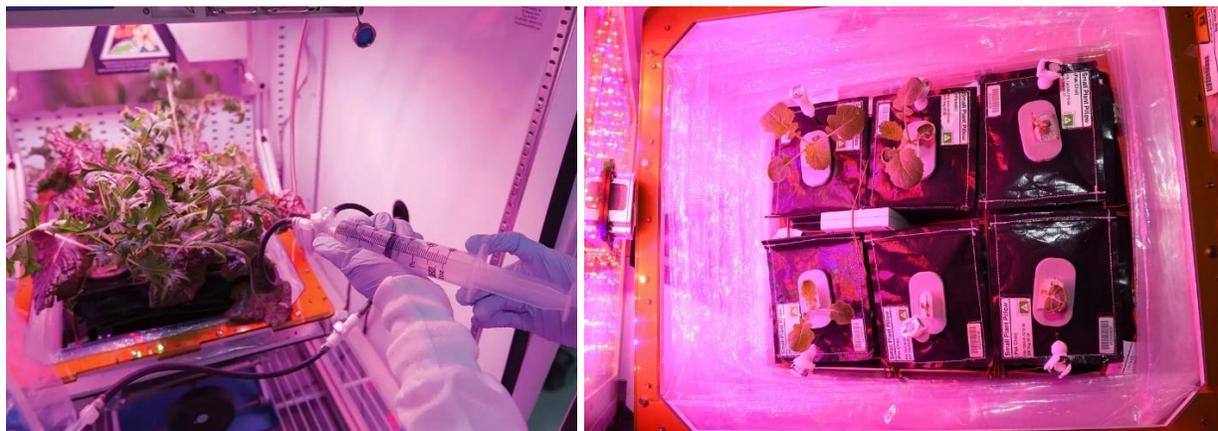


Figure 2: A gauche démonstration de la technique d'arrosage dans le système Veggie au sol dans une chambre de culture. Crédits : NASA. A droite, visualisation des poches remplies de substrat dans le système Veggie sur l'ISS. Crédits : NASA/Koch

Un substrat avec des grains de petite taille permet une bonne distribution de l'eau mais a une mauvaise aération, alors qu'un substrat avec des grains plus gros permet une meilleure aération, mais l'hydratation y est sous-optimale.

Le système Veggie actuellement sur l'ISS utilise des poches remplies de substrat de culture avec un engrais à diffusion lente et contrôlée, arrosées avec une seringue d'eau par les astronautes (Figure 2). Pour des surfaces planétaires ou lunaires, où il y a de la pesanteur, ces systèmes de distribution d'eau et de nutriments pourront s'inspirer de systèmes terrestres (en particulier de

l'hydroponie avec la technique de culture sur film nutritif<sup>17</sup>).

### 3.2. *N'oubliez pas vos lunettes de soleil !*

La productivité des plantes est directement liée au niveau d'éclairage qu'elles reçoivent. L'enjeu est donc de passer de systèmes d'éclairage gourmands en énergie comme les lampes fluorescentes, à des systèmes plus économiques et efficaces, comme les diodes électroluminescentes (LED<sup>18</sup>).

<sup>17</sup> Souvent abrégée en NFT pour Nutrient Film Technique, cette technique particulière d'hydroponie

consiste à faire circuler une fine épaisseur de solution nutritive au niveau des racines.

<sup>18</sup> Abrégé LED pour Light-Emitting Diodes en anglais

Des études scientifiques ont montré que les longueurs d'ondes les mieux absorbées par les plantes sont le rouge et le bleu – le bleu étant moins efficace que le rouge d'un point de vue photosynthétique mais très important pour la photomorphogénèse, c'est-à-dire l'élongation de la tige et l'expansion des feuilles, par exemple. Se concentrer sur ces deux longueurs d'onde pourrait donc être une méthode pour réduire la demande énergétique de l'éclairage des plantes.

Sur des surfaces planétaires et lunaires, utiliser la lumière du Soleil (en complément ou en source principale d'éclairage), par exemple en utilisant des miroirs paraboliques qui concentrent les rayons lumineux et les transmettent aux plantes par fibre optique, permettrait aussi de réduire cette demande.

### 3.3. *Vive le vent !*

La concentration en éthylène<sup>19</sup> dans l'ISS est maintenue sous les 50 ppb (parties par million), mais il a été montré que même une concentration aussi basse peut affecter la croissance des plantes. Seulement certains petits systèmes de croissance de plantules sur l'ISS bénéficient de filtres à éthylène ; les

autres, comme Veggie, utilisent l'air de la cabine.

### 3.4. *Boîte à sardines ?*

La place disponible dans un module de culture spatiale sera très limitée, il est donc crucial de sélectionner des espèces de plantes de petites tailles avec une productivité élevée. Ainsi, depuis des décennies, l'Université de l'Utah a sélectionné des graines de blé nain, riz nain, poivron nain, soja nain, etc. Au centre KSC de la NASA, des études ont même été faites sur des pruniers nains!

### 3.5. *Des modèles avant tout !*

Pour être en mesure de prédire la production de biomasse, d'oxygène et d'eau par les plantes dans un vaisseau spatial, il faut une compréhension approfondie des mécanismes et processus de croissance et de leurs combinaisons complexes d'un point de vue biochimique, physique et morphologique.

<sup>19</sup> L'éthylène est une hormone végétale impliquée dans la floraison et la maturation des fruits. On observe

ainsi que les fruits en milieu confinés mûrissent plus vite que les fruits à l'air libre



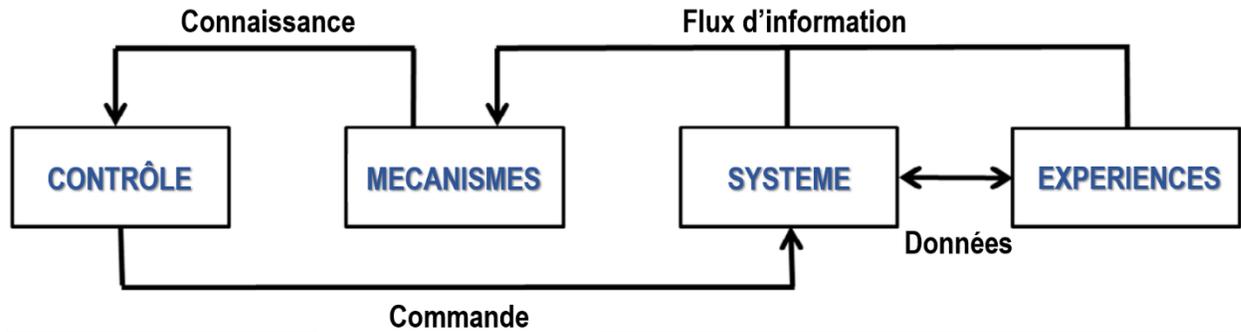


Figure 3: Schéma expliquant les liens entre un système, les expériences faites dessus, ses mécanismes et une boucle de contrôle, qui sont les principes de la modélisation mécaniste.

Le développement de modèles mécanistiques<sup>20</sup> et de modèles de connaissance associés à des expériences spécifiques qui mesureraient des paramètres au niveau local (Figure 3), permettraient d'obtenir des bilans massiques et énergétiques précis (Hézar 2012). Le transfert d'eau dans la plante ainsi que le cycle du carbone<sup>21</sup> sont deux éléments clés dans cette compréhension, tous deux liés au profil aérodynamique autour des feuilles et à la couche limite résultante.

#### 4. Conclusion et perspectives

##### 4.1. Pour résumer...

Les effets du vol spatial sur les plantes ne sont encore pas entièrement compris, mais il

semblerait qu'il n'y ait pas d'obstacles majeurs à leur croissance, tant que le contrôle des paramètres de ventilation, éclairage, température et humidité est assuré.

##### 4.2. ... Il y a encore du travail !

En revanche, des tests à grande échelle de production de nourriture en gravité réduite dans l'espace sont encore à faire. Cela passera par une compréhension précise des processus et phénomènes de croissance, qui nécessite le développement de modèles mécanistiques en environnements de gravité réduite.

#### Références

Gitelson, I. I., I. A. Terskov, B. G. Kovrov, G. M. Lisovsky, Y. N. Okladnikov, F. Y. Sid'ko, I. N. Trubachev, et al. 1989. "Long-

<sup>20</sup> Voir l'article « Une approche physique pour comprendre la croissance des plantes dans l'espace » pour une explication détaillée

<sup>21</sup> Le carbone dans la biomasse des plantes provient du CO<sub>2</sub> atmosphérique qu'elles ont fixé avec la photosynthèse pour produire des sucres

term experiments on man's stay in biological lifesupport system.” *Advances in Space Research* 9 (8): 6–71.

bioregenerative life support studies.” *Advances in Space Research* 18 (4–5):215–224.

Hezard, P. 2012. Higher Plant Growth Modelling for Life Support Systems: Global Model Design and Simulation of Mass and Energy Transfers at the Plant Level. PhD Thesis, Clermont Ferrand: Doctoral school of Life Sciences, Health, Agronomy, Environment – Université Blaise Pascal, Université d'Auvergne, 2012.

Kitaya, Y., Kawai, M., Tsuruyama, J., Takahashi, H., Tani, A., Goto, E., Saito, T., and Kiyota, M. (2003a) The effect of gravity on surface temperatures of plant leaves. *Plant Cell Environ* 26:497–503.

Lasseur, C., J. Brunet, H. De Weever, M. Dixon, C.-G. Dussap, F. Godia, N. Leys, M. Mergeay, and D. Van Der Straeten. 2010. “MELiSSA: The European Project Of Closed Life Support System.” *Gravitational and Space Biology* 23 (2): 3–12.

Porterfield, D. M., G. S. Neichitailo, A. L. Mashinski, and M.E. Musgrave. 2003. “Spaceflight hardware for conducting plant growth experiments in space: the early years 1960–2000.” *Advances in Space Research* 31 (1): 183–193.

Wheeler, R. M., C. L. Mackowiak, G. W. Stutte, J. C. Sager, N. C. Yorio, L. M. Ruffe, R. E. Fortson, T. T. W. Dreschel, W. M. Knott, and K. A. Corey. 1996. “NASA's Biomass Production Chamber: a testbed for

10

Article en accès libre sous licence Creative Commons (CCAL) : cet article est en téléchargement et diffusion libre sans but commercial ni modification et doit être cité comme mentionné en fin d'article ou sur le site du journal.

*Free access article under Creative Commons licence: this article can be downloaded and shared without any commercial purpose and cannot be modified. It must be cited as mentioned at the end of the article or in the journal website.*



**Comment citer cet article :** Lucie Poulet et la classe de Terminale du lycée de l'Institution Sévigné St Louis (Issoire (Fr)), *Réponse des plantes à l'environnement spatial : Un guide pour les futurs jardiniers de l'espace*, Journal DECODER, 2019-08-31

Article en accès libre sous licence Creative Commons (CCAL) : cet article est en téléchargement et diffusion libre sans but commercial ni modification et doit être cité comme mentionné en fin d'article ou sur le site du journal.

*Free access article under Creative Commons licence: this article can be downloaded and shared without any commercial purpose and cannot be modified. It must be cited as mentioned at the end of the article or in the journal website.*

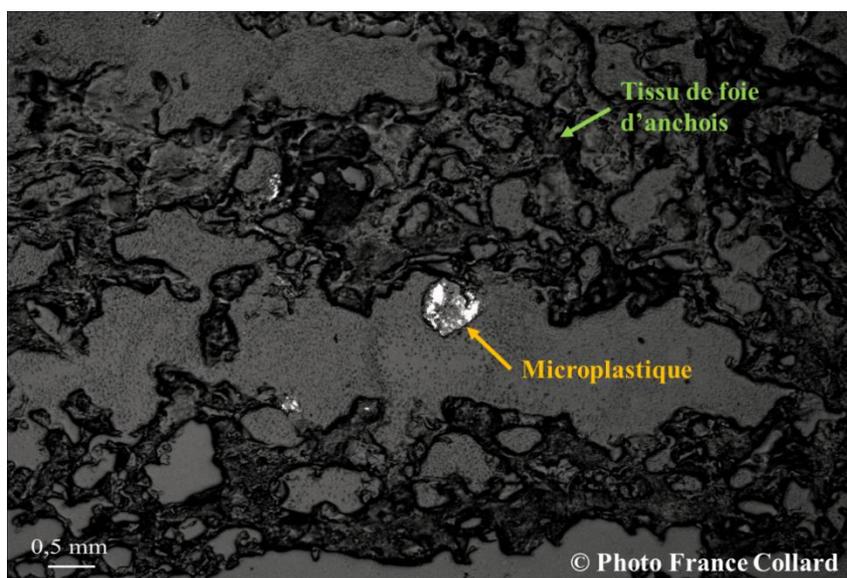


# Des microplastiques dans le foie des anchois

France Collard<sup>1</sup> (chercheuse) et la classe de l'option sciences du collège Albert Camus de Mr Baron et Mr Missonnier<sup>2</sup> (la liste des élèves est mentionnée en fin d'article)

**Article original/Original article:** F. Collard, B. Gilbert, P. Compère, G. Eppe, K. Das, T. Jauniaux & E. Parmentier (2017), *Microplastics in liver of European anchovies (Engraulis encrasicolus, L.)*, Environmental pollution, 229, 1000-1005.

**Institution :** <sup>1</sup>Norwegian Polar Institute, Fram Centre, 9296-Tromsø, Norway  
<sup>2</sup>Collège Albert Camus, 1 rue du sous-marin Casabianca, 63000 Clermont-Ferrand



## Résumé :

Cet article a été rédigé par 3 élèves de l'option sciences du collège Albert Camus à partir du document original proposé par France Collard.

Ces élèves se sont donc intéressés à la pollution aux microplastiques qu'il est possible de retrouver dans le foie de poissons sauvages et que nous avons l'habitude de retrouver sur nos étals.

Au cours de cette réécriture mais aussi lors d'un entretien à distance, les élèves ont appris que certains polluants plastiques se trouvaient dans des organes autres que le foie. Ce qui suscite de nombreuses interrogations de la part de la chercheuse.

Il est intéressant de constater tout le processus expérimental développé par France Collard afin de mener à bien ses observations sur les tissus qu'elle a pu recueillir au cours d'une campagne de pêche scientifique de l'IFREMER.

**Mots clés :** pollution ; microplastiques ; poissons ; polyéthylène

1

Article en accès libre sous licence Creative Commons (CCAL) : cet article est en téléchargement et diffusion libre sans but commercial ni modification et doit être cité comme mentionné en fin d'article ou sur le site du journal.

Free access article under Creative Commons licence: this article can be downloaded and shared without any commercial purpose and cannot be modified. It must be cited as mentioned at the end of the article or in the journal website.



## I Introduction

Au cours de cette étude effectuée en 2016 les scientifiques essaient de prouver la présence de microplastiques (MP) dans les foies d'anchois notamment et de montrer que cette pollution a des impacts sur les poissons.

La production industrielle de plastiques a débuté aux alentours des années 1950. Une grande quantité de plastiques a été produite et des microplastiques qui en sont issus se retrouvent désormais à différents endroits du milieu marin : sédiments\*(voir lexique en fin d'article), plages, eau et organismes.

Avec le temps et la dégradation dans le milieu aquatique, les matériaux plastiques se séparent en particules de très petite taille. Ces plastiques sont autrement appelés microplastiques (MP) ou même nanoplastiques si leur taille est respectivement égale à 5mm ou 1 µm\*. Des mammifères mais aussi des poissons peuvent avaler des MP (lorsqu'ils consomment du zooplancton par exemple). Ces MP sont éliminés en partie mais peuvent aussi avoir une durée de rétention dans l'organisme plus importante. Ainsi, ces particules peuvent être transloquées\* dans différents organes, comme les branchies ou même les organes génitaux (c'est le cas par exemple chez le crabe *Uca rapax*).

Par rapport aux poissons, des études ont prouvé que les MP se déplacent vers le foie et les gonades\*. Les impacts de ces déplacements sont peu connus et proviennent souvent d'études qui utilisent une concentration en MP bien supérieure aux conditions environnementales habituelles (dans

des aquariums de laboratoires). Néanmoins des atteintes à certains organes comme l'intestin et le foie ont été observées après une exposition à ces MP. Le travail présenté ici s'intéresse aux foies de 3 espèces de poissons sauvages que l'on peut trouver dans les commerces.

## II Matériel et méthodes

3 espèces de poissons différentes ont été pêchées :

- 13 anchois (*Engraulis encrasicolus*) prélevés en mer Méditerranée en juillet 2013.
- 2 harengs (*Clupea harengus*) prélevés en mer du Nord en 2013 et dans la Manche en 2014.
- 2 sardines (*Sardina pilchardus*) prélevées dans la Manche en 2014.

L'échantillonnage a été réalisé lors de campagnes de pêche organisées par l'IFREMER\*.

A peine pêchés, les poissons ont été disséqués puis leurs foies directement congelés.

Pour éviter la contamination pendant le traitement des échantillons, un processus strict a été appliqué (par exemple les matériaux utilisés et les espaces de travail ont été nettoyés et rincés avec de l'éthanol).

Afin d'évaluer cette éventuelle contamination, des blancs procéduraux\* ont été effectués. Dans ces blancs procéduraux il n'y a pas eu de polymère\* plastique trouvé. Cela indique qu'il n'y a pas eu de contamination par d'autres MP au cours de ce travail.

Pour séparer les MP des foies, une technique de digestion chimique des tissus par de l'eau de javel notamment a été élaborée par la chercheuse. La mixture obtenue a ensuite été filtrée au travers de membranes filtrantes en acétate de cellulose de 5µm de porosité.

Ces membranes sont placées dans une solution de méthanol et traitées aux ultrasons.

2

Article en accès libre sous licence Creative Commons (CCAL) : cet article est en téléchargement et diffusion libre sans but commercial ni modification et doit être cité comme mentionné en fin d'article ou sur le site du journal.

Free access article under Creative Commons licence: this article can be downloaded and shared without any commercial purpose and cannot be modified. It must be cited as mentioned at the end of the article or in the journal website.





Enfin, la solution de méthanol a été centrifugée\*. Le culot obtenu a été récupéré et analysé en spectroscopie Raman\*.

Trois foies de poissons ont également été utilisés pour réaliser des cryocoupes\*. Une fois congelés ils sont enveloppés dans une résine, coupés et montés sur une lame de verre pour l'observation au microscope en lumière polarisée.

Les particules suspectes observées dans les cryocoupes et celles isolées par digestion chimique ont été analysées en spectroscopie Raman. Cette technique d'imagerie permet de vérifier notamment la composition chimique mais aussi l'homogénéité de la composition des particules de microplastiques. Autrement dit, si le MP est constitué d'une seule et même sorte de molécules ou de plusieurs. Après ces analyses, les particules plastiques ont été individuellement mesurées et pesées. Un autre programme a servi à mesurer la longueur maximale de chaque particule à partir de photos.

### III Résultats et discussion

- En dehors de 8 des 10 foies d'anchois, 9 MP ont été détectés. Ces MP mesuraient entre 124 et 438  $\mu\text{m}$  avec une moyenne de 323  $\mu\text{m}$ . 8 MP étaient en polyéthylène ("PE") et 1 autre était un copolymère\* de styrène et d'acrylonitrile.

- 3 des 4 foies de sardines et de harengs contenaient du plastique, également sous forme de PE et de même taille que ceux isolés dans les foies d'anchois.

Le polyéthylène est très souvent présent dans les analyses. Il se trouve que c'est le plastique le plus produit et utilisé dans le

monde pour fabriquer les sacs plastiques par exemple.

Ces résultats amènent plusieurs conclusions : il est possible de trouver des MP en dehors du tractus intestinal chez des vertébrés sauvages. Des microplastiques n'ont pas toujours de composition homogène ; le polyéthylène a été retrouvé associé avec de la cellulose.

La chercheuse s'interroge mais par manque de temps sur cette étude ne peut apporter d'explications à ce jour :

- existe-t-il dans le foie des poissons des mécanismes physiques et chimiques de réorganisation des molécules de polymères ? Si oui lesquels ?

- comment des microplastiques de tailles identiques et non négligeables (quelques centaines de micromètres) peuvent migrer dans le foie à partir de l'estomac des poissons ?

Cette étude nous interroge aussi de manière plus globale.

Comment ces microplastiques peuvent (ou non) impacter la santé humaine lorsque nous consommons des poissons ?

Qu'en est-il de la contamination chez les gros poissons prédateurs des anchois, harengs et sardines qui peuvent accumuler des microplastiques du fait de leur place dans la chaîne alimentaire ?





### **Lexique :**

- **Blancs procéduraux** : analyses pour vérifier l'absence de microplastiques dans l'environnement de travail.
- **Centrifuger** : Technique de séparation utilisant les différences de densité des constituants d'un mélange. Le récipient est mis en mouvement rapide pour accélérer la décantation.
- **Copolymère** : les copolymères sont des polymères (voir précédemment) qui résultent de l'association de deux molécules différentes (ici une molécule de styrène de formule  $C_8H_8$  et une molécule d'acrylonitrile de formule  $C_3H_3N$ ). Cette association se répète plusieurs fois pour former un copolymère.
- **Cryocoupes** : coupes extrêmement fines réalisées sur des tissus congelés.
- **Gonades** : organes reproducteurs.
- **IFREMER** : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer.
- **Polymère** : famille de matériaux constitués de très grosses molécules (appelées macromolécules) qui présentent un enchaînement répété plusieurs fois de molécules identiques ou non plus petites. La plupart des plastiques sont des polymères.
- **Sédiments** : Dépôt de matières.
- **Spectroscopie Raman** : Technique d'analyses pour identifier une matière en utilisant de la lumière visible. Cela permet d'identifier ici si des plastiques sont présents dans les culots et de donner la composition chimique des plastiques.
- **Translocation** : correspond au déplacement d'une particule d'un organe vers un autre.
- **$\mu m$**  : symbole de l'unité de longueur « micromètre » équivalente à 1 millionième de mètre ou 1 millième de millimètre.

### **Références :**

Collard, F., Gilbert B., Compère, P., Eppe, G., Das, K., Jauniaux, T., & Parmentier, E., « Microplastics in Livers of European Anchovies (*Engraulis encrasicolus*, L.) ». *Environmental Pollution* 229 (1 octobre 2017): 1000-1005.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.089>.

**Ont participé au travail d'écriture de cet article, en collaboration avec France Collard, chercheuse en écologie marine (par ordre alphabétique) :** Badr Bourhim, Hugo Luminet et Ludovic Martin

**Comment citer cet article :** France Collard et la classe de l'option sciences du collège Albert Camus (Clermont-Ferrand, FR), *Des microplastiques dans le foie des anchois*, Journal DECODER, 2020-11-02

4

Article en accès libre sous licence Creative Commons (CCAL) : cet article est en téléchargement et diffusion libre sans but commercial ni modification et doit être cité comme mentionné en fin d'article ou sur le site du journal.

Free access article under Creative Commons licence: this article can be downloaded and shared without any commercial purpose and cannot be modified. It must be cited as mentioned at the end of the article or in the journal website.



## Nos prochaines actions :



### *Clermont Innovation Week*

Cet événement vise à valoriser les innovations sur la métropole clermontoise (63). DECODER y participe en collaboration avec le collège Albert Camus de Clermont-Ferrand et Radio Campus afin de proposer une émission de vulgarisation scientifique sur le thème "Les énergies de demain".



---

***Le Festival ExpoSciences  
organisé par astu'sciences***

En numérique cette année (<https://www.exposciences-auvergne.fr/>), ce festival de sciences en Auvergne participe au partage des connaissances scientifiques avec les élèves. DECODER, partenaire d'AstuScience se propose de publier des articles écrits cette année entre chercheur.se.s et classes dans le cadre de cet événement ! Rendez vous en mai !

---

### ***The Media Social Club***

Un festival d'éducation aux médias et à l'information s'organise à Clermont-Ferrand à l'automne 2020 et Décodeur participe pour proposer des ateliers d'éducation à la science et à la diffusion de la science. On vous en dit plus prochainement...

## Pour nous contacter ou en savoir plus :

Le site web : <http://journal-decoder.fr/contact/>

Facebook : <https://www.facebook.com/JournalDecoder/>

LinkedIn : <https://fr.linkedin.com/in/journal-décoder-0142411b0>

email : [journal.decoder@gmail.com](mailto:journal.decoder@gmail.com)



*Vous pouvez aussi adhérer à notre association via notre site pour la modique somme de 5€ ;) : <http://journal-decoder.fr/adhesion/> ou tout simplement faire un don : <http://journal-decoder.fr/don/>*

*Si vous utilisez le moteur de recherche internet Lilo, vous pouvez aussi attribuer vos gouttes d'eau au journal DECODER : <https://www.lilo.org/journal-decoder/>*