



Volume 3 / 2023-2024

"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

Sommaire

Quelques mots de l'équipe éditoriale (page 3)

Témoignage des Etudiant·e·s de master international 2 IWS (Integrated Watershed Sciences , H2O Lyon) ayant co-écrit un article de ce volume (page 4)

Les articles 2023

Un panache mantellique à l'origine de la fermeture d'un océan (page 5)

Traduire une oeuvre littéraire en jeu vidéo : L'Appel de Cthulhu (1928) et Sunless Sea (2015) (page 16)

La connexion humain-nature comme voie vers la durabilité : une méta-analyse globale (page 25)

Interaction chêne/herbacées : la faim vient en mangeant (page 31)

C6: a small molecule that triggers ovulation (page 42)

Évènements extrêmes observés et changement climatique (page 51)

Effet allélopathique d'une espèce native sur une plante exotique envahissante majeure en Europe (page 63)

De la ville entonnoir à la ville perméable : gestion des eaux pluviales sur le campus de la Doua (page 72)

Mesure de la sédentarité et impact du contexte scolaire chez des élèves de la 4ème à la seconde (page 81)

Ca y est le voilà arrivé dans votre boîte mail, le troisième volume de DECODER. Modeste mais comme à l'accoutumée, riche d'informations sur les productions de la recherche, les 9 articles de ce volume sauront très certainement satisfaire une partie de votre curiosité ! Nous vous promettons la même richesse et qualité avec les articles actuellement en cours d'écriture avec des classes des Landes, d'Auvergne ou encore du Rhône pour le volume 4.

Nous profitons de cet édito pour zoomer sur deux initiatives du journal de 2023-2024. Tout d'abord, le journal s'est associé cette année à un Master international lyonnais pour la rédaction d'un de ses articles que vous pouvez lire dans ce volume. Le Master IWS (Integrated Watershed Science) a pour vocation de traiter des problématiques de l'eau de manière pluridisciplinaire, thème de l'école universitaire de recherche H2O, porteuse de ce master. Un des membres de l'équipe éditoriale participant à ce Master via la responsabilité de l'Unité d'Enseignement « Communication », c'est tout naturellement que l'équipe a sollicité les étudiants de 2ème année du Master pour écrire un petit article de synthèse avec une classe de Terminale du lycée Doisneau à Vaulx en Velin (69). L'expérience a été fort enrichissante des deux côtés et a permis, à nos yeux, de prolonger encore un peu l'esprit DECODER en participant à ce nouveau type de formation. Nous avons également décidé de donner la parole aux étudiant·e·s via un témoignage introductif de ce volume.

La deuxième initiative est l'intégration de l'offre DECODER au Pass'Culture à destination des enseignants !! Cette inscription témoigne du sérieux du travail accompli mais aussi de votre engagement à nos côtés, condition sine qua non de la réussite de ce projet. Pourquoi cette inscription ? L'initiative DECODER se veut gratuite car nous connaissons la difficulté des établissements à recevoir des subventions et que le travail des chercheur·se·s est le fruit de financement public que nous ne souhaitons pas « facturer » deux fois à la société. C'est également une mission des chercheur·se·s que de diffuser leur production à la société. Toutefois, ce système de Pass'culture permettrait d'aider le fonctionnement de l'association (hébergement du site internet, participation à des colloques scientifiques, intervention extérieure,...), et à terme à financer le déplacement des chercheur·se·s, avec qui les enseignant·e·s co-écrivent, pour rendre l'expérience DECODER encore plus vivante et pleine de sens. Encore une fois, cette participation ne doit pas empêcher les classes de participer à d'autres événements culturels tout aussi intéressants. C'est pourquoi l'association proposera à partir de la rentrée 2024, une modeste participation des classes via le Pass'Culture de XX€. Nous ne serons pas en mesure, dès la première année de financer le déplacement de tous les chercheur·se·s mais promis, nous le ferons dès que possible.

Nous vous souhaitons une bonne lecture et vous remercions, encore une fois, pour votre fidélité et votre engagement avec nous, vers plus de diffusion des savoirs.

L'équipe éditoriale DECODER

Témoignage

Etudiant·e·s de master international 2 IWS (Integrated Watershed Sciences , H2O Lyon) ayant co-écrit un article de ce volume (Almudena Plichon, Mathis Fléret, Marina Benavides-Guedes, Rémi Combeaux, Camille Dianoux)

Mes quatre camarades de Master et moi avons expérimenté la rédaction d'un article de vulgarisation scientifique en collaboration avec les élèves d'une classe de Terminale du Lycée Robert Doisneau à Vaulx en Velin (<http://journal-decoder.fr/2024/02/20/de-la-ville-entonnoir-a-la-ville-permeable-gestion-des-eaux-pluviales-sur-le-campus-de-la-doua/>). Etant nous-mêmes des scientifiques en herbe, il est amusant de constater à quel point notre langage est d'ores et déjà rempli de mots de vocabulaire technique, qui ne sont pas adaptés à la vulgarisation. Imperméabilisation, réseau d'assainissement et solutions fondées sur la nature sont autant de concepts qu'il faut prendre le temps de détailler lorsque l'on s'adresse au grand public, sous peine d'être mal compris, ou de perdre l'attention du lecteur. Il me semble que le travail de relecture et de synthétisation de l'article réalisé par les lycéens a permis de rendre le message plus accessible sans en perdre les nuances. Le danger de la vulgarisation est de trop simplifier, quitte à perdre en réalisme, pour pouvoir toucher un plus grand public. Nous avons fait notre possible pour nous en prémunir, en citant nos sources les plus pertinentes par exemple.

Ce travail de collaboration a été une réussite sur plusieurs points à mon sens. Au-delà de la production de l'article, nous avons partagé trois moments d'échange avec les lycéens, dont deux en salle de classe et un en extérieur, sur le campus de La Doua, site d'expérimentation in situ en hydrologie urbaine. Ce fut notamment l'occasion d'initier des contacts entre ces élèves de Terminale issus d'un lycée de banlieue et des étudiants de l'enseignement supérieur, en abordant des questionnements scientifiques différents de ce qu'ils étudient en cours, ou en répondant à leurs interrogations sur leur orientation professionnelle prochaine. Les discussions étaient agréables pour tous, et je pense que chacun a pu retenir des leçons constructives de ces échanges. Je recommande vivement ce genre de collaboration et me porterai attentif aux prochaines parutions sur le site DECODER.

Rémi COMBEAUX, et ses camarades de Master – Integrated Watershed Sciences



H₂O'Lyon
Université de Lyon

Un panache mantellique à l'origine de la fermeture d'un océan

Maëlis Arnould¹ (enseignante-chercheuse) et la classe de Terminale spécialité SVT du lycée Sainte Clotilde de Mme Nathalie Thierry-Chef² (*la liste des élèves est mentionnée en fin d'article*)

Article original/Original article: Rodriguez, M., Arnould, M., Coltice, N., & Soret, M. (2021). Long-term evolution of a plume-induced subduction in the Neotethys realm. *Earth and Planetary Science Letters*, 561, 116798

Institution : ¹Laboratoire de Géologie de Lyon (LGL-TPE), Université Claude Bernard Lyon 1, 2 rue Raphaël Dubois, 69622 Villeurbanne Cedex

²Lycée Sainte Clotilde, 19 rue de Verdun 67083 Strasbourg Cedex



Résumé :

La théorie de la tectonique des plaques prédit que la lithosphère océanique disparaît au niveau des zones de subduction, où elle est entraînée dans les profondeurs du manteau. Mais comment s'initient les zones de subduction ? Des observations géologiques en Himalaya et en Arabie et des modèles numériques de convection mantellique suggèrent que la naissance du panache mantellique responsable du volcanisme actuel à l'Île de la Réunion aurait initié la zone de subduction responsable de la disparition de l'océan Néotéthys qui séparait l'Inde de l'Asie

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.

il y a 100 Ma (alors que les dinosaures peuplaient encore la planète), entraînant par la suite la formation de la chaîne himalayenne.

Mots clés : tectonique des plaques ; convection mantellique ; ophiolite ; panache mantellique ; initiation de subduction

I Introduction

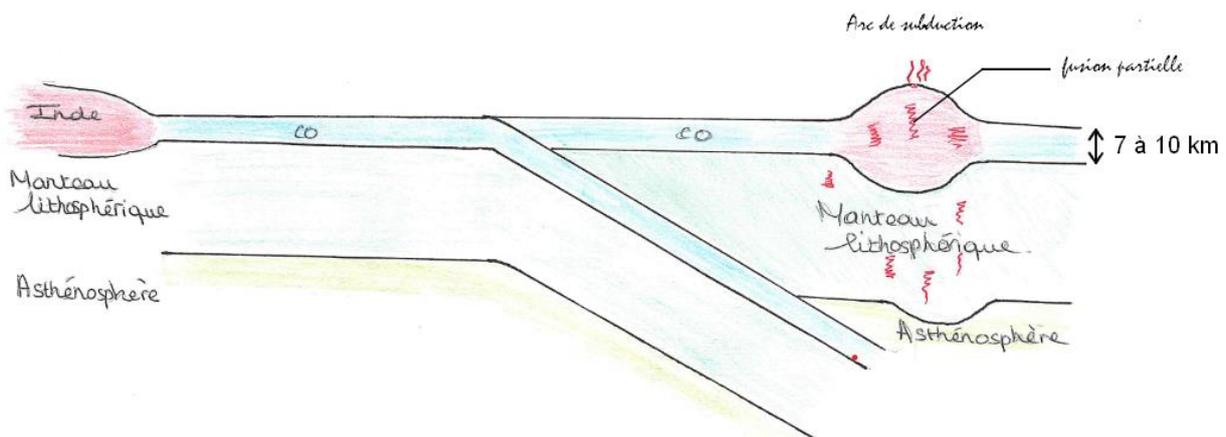
La tectonique des plaques est une théorie décrivant les déplacements des continents et des océans à la surface de la Terre. Les événements géologiques majeurs (volcanisme et séismes) se concentrent au niveau des limites des plaques.

Les zones de subductions correspondent aux limites de plaques tectoniques convergentes c'est-à-dire qui viennent à la rencontre l'une de l'autre. Ces zones se caractérisent par la plongée d'une plaque océanique (ou plaque plongeante) dans l'asthénosphère sous une autre

plaque, dite chevauchante. Cette dernière peut être soit continentale, soit océanique. Dans ce dernier cas on parle de **subduction intra-océanique** (Fig. 1).

Les zones de subduction jouent un rôle prépondérant dans les mouvements tectoniques, en tirant les plaques qui y sont attachées dans le manteau terrestre. Les mouvements de convergence associés à l'activité des zones de subduction sont responsables à court terme d'éruptions explosives et de grands séismes, et à long-terme de la fermeture d'océans entiers et de collisions continentales à l'origine de chaînes de montagnes.

Figure 1 : Schéma d'une subduction intra-océanique



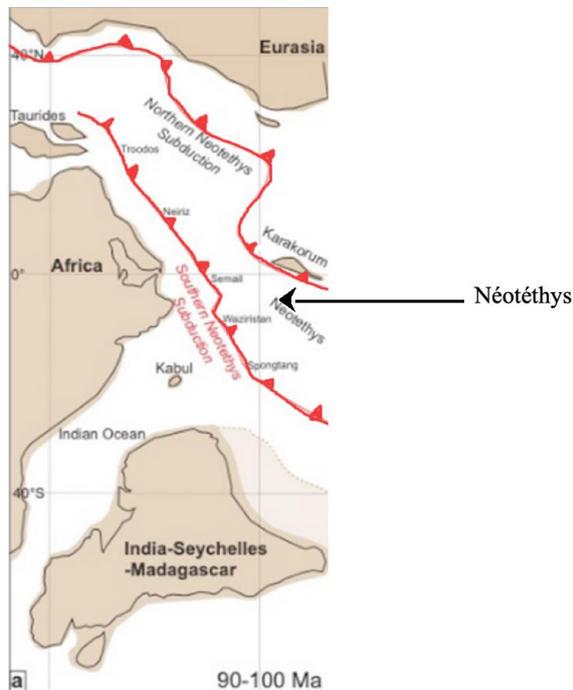


Figure 2 : Reconstruction de la Néotéthys entre 90 et 100 Ma

Les processus à l'origine du plongement initial d'une plaque lithosphérique dans le manteau sont encore mal connus d'autant moins dans le cas des subductions intra-océaniques, c'est-à-dire ayant lieu au milieu des océans. En effet, il n'existe pas, à l'heure actuelle, d'initiation de subduction intra-océanique et, pour les subductions intra-océaniques passées, les plaques ont aujourd'hui disparu. Il subsiste donc très peu d'indices à la surface pour étudier l'initiation d'une subduction.

Un exemple récent de fermeture d'océan associée à l'activité d'une zone de subduction est celui de l'Océan Néotéthys, qui séparait

l'Inde de l'Asie avant la collision de ces continents et la formation de l'Himalaya (Fig. 2).

Grâce à l'étude de roches (les ophiolites) qui ont enregistré cette fermeture, les géologues ont découvert que la disparition progressive de l'Océan Néotéthys entre 110 et 60 Ma était due à une subduction intra-océanique étendue sur plusieurs milliers de kilomètres : **la Subduction Sud Néotéthys**.

Cette subduction est née dans un environnement particulier : un manteau anormalement chaud. En effet, le manteau est animé de mouvements de convection qui mettent en mouvement les matériaux constituant le manteau. Le matériau chauffé en certains points à la limite entre le manteau et le noyau, remonte jusqu'à la base de la lithosphère. Ce matériau chaud constitue un **panache mantellique** (Fig. 3) qui s'accompagne d'émissions volcaniques formant un **point chaud**. C'est le cas actuellement pour le volcanisme de l'île de la Réunion qui correspond à l'activité d'un point chaud lié à un panache mantellique actif depuis 110 Ma.

La présence de ce panache mantellique à proximité de la subduction pourrait expliquer la naissance de cette subduction intra-océanique et son évolution. Pour vérifier cette hypothèse, une étude des traces géologiques de l'Océan Néotéthys a été menée. Par ailleurs, des modèles numériques de planète virtuelle ont été utilisés pour simuler des subductions induites par des panaches. Cet article propose de reconstruire la naissance et l'évolution de la subduction Sud Néotéthys, et montre qu'un panache peut initier une subduction majeure aux conséquences tectoniques importantes à l'échelle régionale.

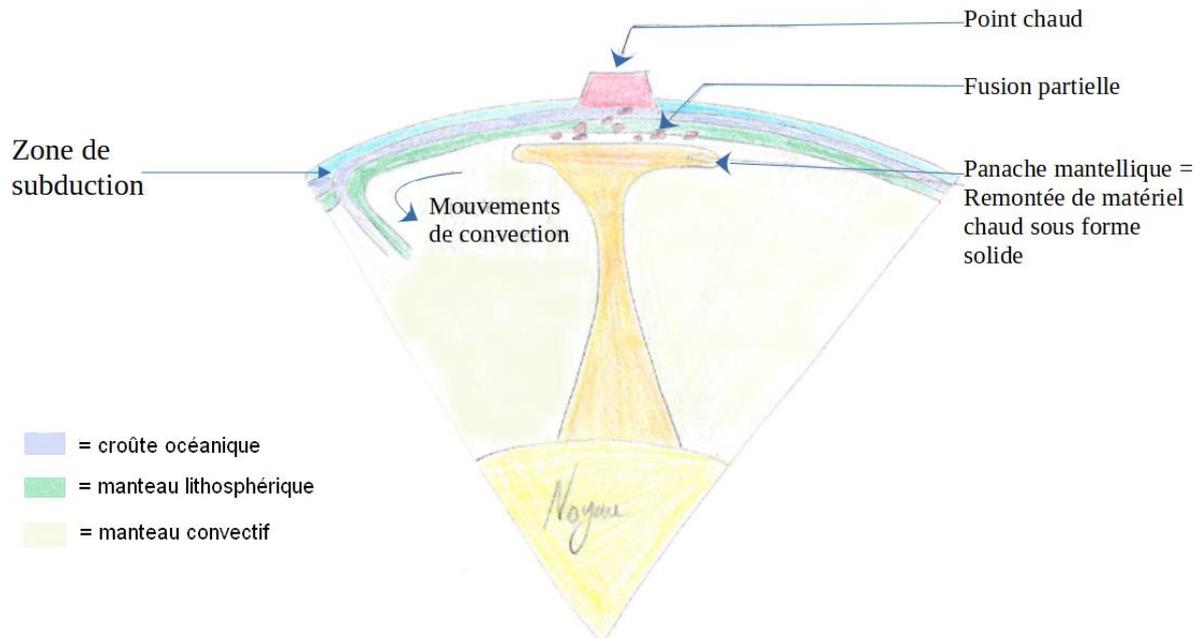


Figure 3 : Coupe schématique montrant des mouvements de convection dans le manteau et un point chaud. Les échelles ne sont pas respectées.

II Étude des traces géologiques de l'initiation de la Subduction Sud Néotéthys

1 Contexte géologique

Aujourd'hui, la lithosphère océanique de l'Océan Néotéthys a complètement disparu dans le manteau, ce qui rend son étude difficile. Néanmoins, il en reste des traces au niveau d'**ophiolites** (Fig. 4). Les ophiolites sont un ensemble de roches appartenant à une portion de lithosphère océanique, charriée sur un continent lors d'un phénomène

de convergence de deux plaques lithosphériques. Dans notre cas les ophiolites correspondent à des lambeaux de lithosphère océanique de l'Océan Néotéthys, qui ont échappé à la subduction et que l'on retrouve maintenant en surface dans les chaînes de montagne.

L'étude des ophiolites de la Néotéthys, que l'on retrouve aujourd'hui tout autour de l'Océan Indien (Fig.5), indique qu'au moins une subduction longue de plusieurs milliers de km - la subduction Sud Néotéthys - a causé la fermeture de cet océan. C'est cette subduction qui a fait l'objet de l'étude géologique présentée ici.

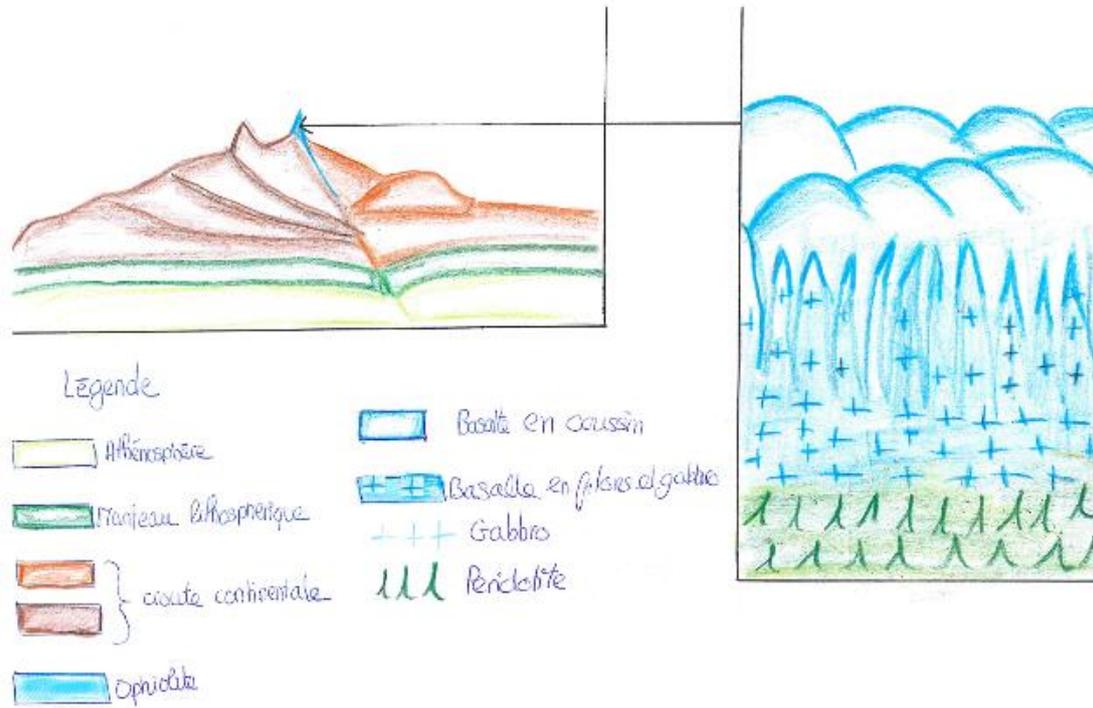


Figure 4 : Situation d'une ophiolite dans une chaîne de collision et coupe d'une ophiolite.

A la base des ophiolites on trouve des roches qui ont enregistré les conditions au moment de l'initiation de la Subduction Sud Néotéthys. Ce sont des **roches métamorphiques**, c'est-à-dire des roches résultant d'une transformation à l'état solide d'autres roches, en raison de variations de pression et/ou de température du milieu.

2 Observations

L'étude des roches métamorphiques permet de connaître les conditions de température et de pression dans lesquelles elles se sont formées ainsi que leur âge. Elles indiquent que la température du manteau est restée anormalement chaude autour de la jeune

subduction pendant au moins 8 Ma. Cette anomalie thermique peut correspondre à l'influence d'un panache mantellique situé à proximité de la zone de subduction, dont l'identité est restée mystérieuse jusqu'à présent. Les âges relevés indiquent que la formation des ophiolites s'est produite sur le pourtour de la Néotéthys à des moments différents, ce qui doit également être expliqué.

Il se trouve que l'initiation de la Subduction Sud Néotéthys, il y a environ 110 Ma, correspond à peu près aux traces les plus anciennes de l'activité du panache mantellique de l'île de la Réunion. Ceci questionne donc sur l'implication de ce panache dans l'initiation de la subduction Sud Néotéthys et les réorganisations des plaques tectoniques qui ont suivi.

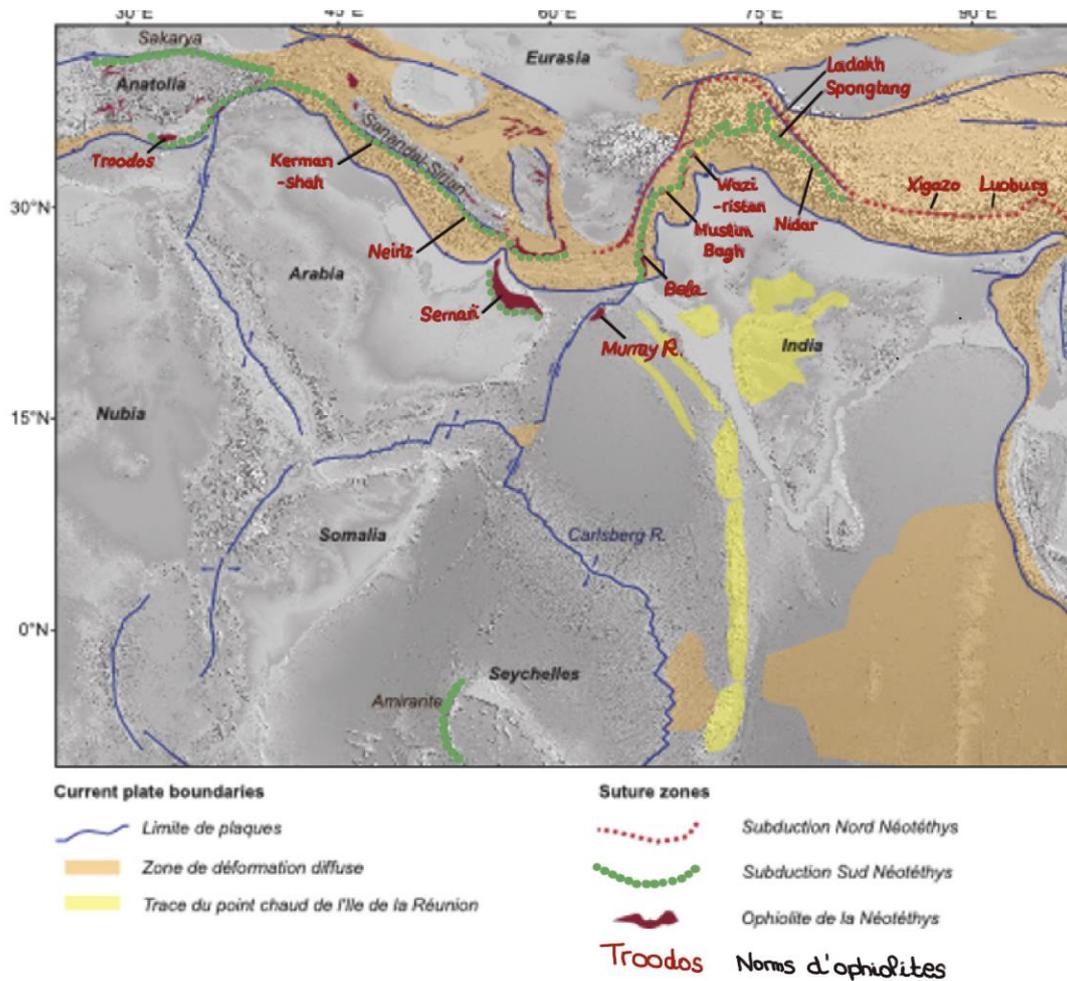


Figure 5 : Géologie de la région étudiée et localisation des traces de l'Océan Néotéthys et de la Subduction Sud-Néotéthys

3 Hypothèse

Nous allons tester l'hypothèse qu'une subduction initiée par un panache peut produire toutes ces observations, grâce à l'étude de l'évolution de subductions induites par des panaches mantelliques au moyen de modèles numériques.

III Subductions induites par un panache dans des modèles numériques globaux.

1 Méthode

Des modèles numériques en géométrie sphérique permettent d'étudier les mouvements de la surface (tectonique des plaques) et de l'intérieur (convection mantellique) de planètes virtuelles ressemblant à la Terre (Fig. 6). Dans ces modèles, les océans, les continents, les panaches et

les panneaux de subduction se déplacent librement et des subductions induites par des panaches se produisent naturellement. De plus, les caractéristiques des plaques tectoniques et des panaches sont comparables à la Terre. Ces modèles sont donc très précieux pour décrire comment une subduction induite par un panache se propage et participe à la fermeture de bassins océaniques et à une collision continentale. Nous avons sélectionné trois modèles légèrement différents, qui nous permettent de tester l'influence de certains paramètres de convection.

2 Résultats

Dans les trois modèles étudiés, la géométrie et la durée de vie des limites de plaques, et en particulier des zones de subduction, évoluent beaucoup (Fig. 6). Des subductions induites par un panache se produisent tous les 100 Ma en moyenne et dépendent de plusieurs facteurs pour pouvoir se produire : la force du panache, la nature de la lithosphère au-dessus du panache (âge, épaisseur), et le contexte tectonique régional.

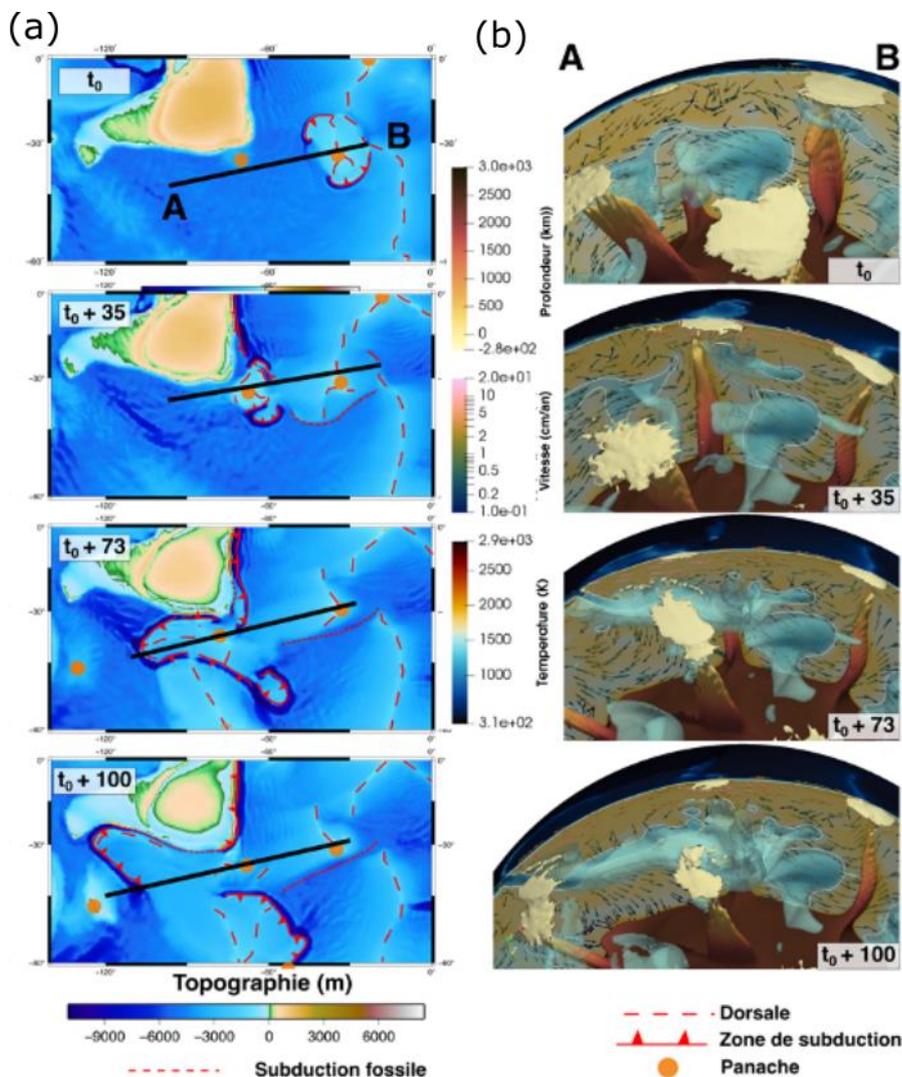


Figure 6 : Exemple d'évolution d'une zone de subduction initiée dans un modèle de convection avec tectonique des plaques. (a) montre la topographie, et (b) l'intérieur du modèle le long des coupes A-B indiquées en (a)



Lors de l'initiation d'une subduction par un panache mantellique, l'âge de la lithosphère océanique varie entre 10 et 100 Ma. La plupart des événements se déroulent lorsqu'une lithosphère âgée et épaisse est amincie par l'érosion thermique causée par un panache stationnaire sous la lithosphère pendant plusieurs dizaines de millions d'années, ou lorsque celui-ci subit une augmentation d'activité liée à la fusion de plusieurs conduits.

Nous avons choisi de décrire les événements qui se succèdent suite à la formation du point chaud visible sur la figure 6 :

- Apparition d'un relief, lié à la déformation par le panache mantellique, de la lithosphère qui remonte.
- Deux zones de subduction se forment en bordure du relief
- Des dorsales se forment au droit du panache mantellique suite à un étirement de la croûte.
- La subduction qui part vers le sud disparaît au moment où elle rencontre la dorsale océanique, car la croûte océanique est fine et ne peut pas subduire.
- La subduction qui part vers l'est forme un arc qui s'étend.
- Puis cette subduction contourne d'autres points chauds et se fractionne en deux. Certaines parties fusionnent avec d'autres subductions.
- Un fragment de la subduction arrive jusqu'au continent qu'il contourne avant de disparaître progressivement (on parle d'obduction). C'est

au moment de cette rencontre avec les continents que se forment les ophiolites qui vont donc avoir des âges différents.

IV Reconstruction de la fermeture de l'Océan Néotéthys

Les modèles numériques et l'étude des roches métamorphiques situées à la base des ophiolites de la Néotéthys nous permettent de reconstruire l'évolution de la fermeture de l'Océan Néotéthys. Les modèles numériques montrent l'initiation de subductions à proximité des panaches mantelliques. Ces subductions se fragmentent en de nombreuses branches qui bougent très vite.

Les obductions, à l'origine des ophiolites se déroulent au fil du temps. En datant toutes les ophiolites visibles en rouge sur la Fig. 5, on peut constater qu'elles ne se sont pas formées toutes en même temps et les âges peuvent correspondre à ce que l'on observe dans le modèle numérique. Ainsi, en combinant les modèles et les observations, nous pouvons proposer un scénario de l'évolution de la Subduction Sud-Néotéthys ainsi que des cartes (Fig. 7) et des coupes géologiques (Fig. 8), détaillées ci-après.

1 Initiation de la Subduction Sud Néotéthys au niveau du panache de la Réunion

Lorsque la Subduction Sud-Néotéthys s'est initiée, le panache de la Réunion était localisé à proximité de l'Arabie il y a environ 110-105 Ma (Fig. 7). Nous suggérons donc que la subduction Sud Néotéthys s'est initiée en milieu océanique, au niveau de la tête du panache.



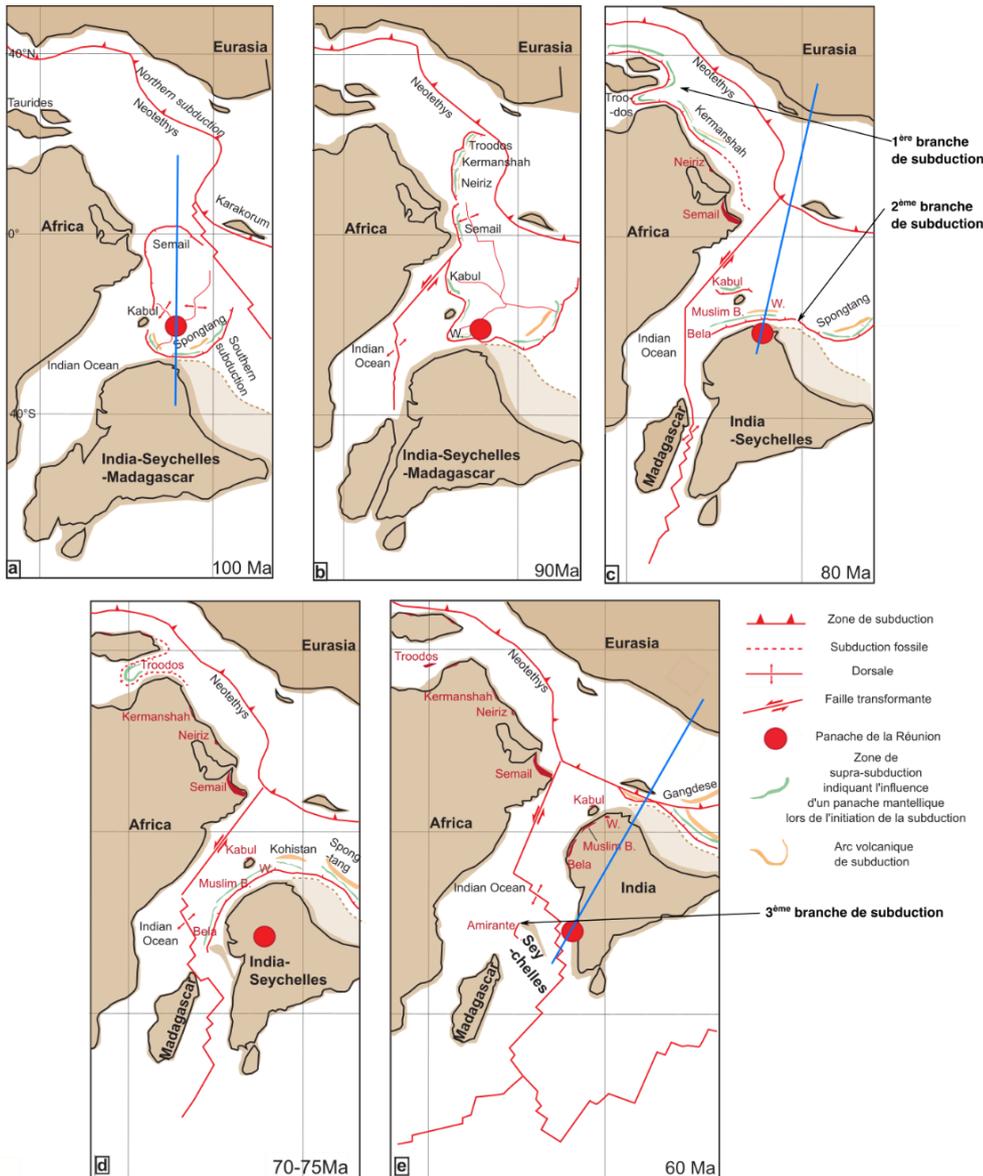


Figure 7 : Scénario de reconstruction tectonique de l'évolution de la Subduction Sud Néotéthys proposé dans cette étude. Les traits bleus représentent les traits de coupe montrés sur la Fig. 8

2 L'évolution à long-terme de la subduction Sud Néotéthys et de l'Océan Néotéthys.

Une fois formée, nous proposons, à partir de l'étude des modèles numériques, que la subduction s'est ensuite séparée en plusieurs segments avant de se propager dans l'Océan Néotéthys. Au moins trois segments

indépendants auraient résulté de cette dislocation et auraient donné naissance aux ophiolites visibles aujourd'hui dans la région : une première branche se serait retirée vers l'Ouest, le long de l'Arabie et jusque dans la Mer Méditerranée. Une deuxième branche se serait propagée vers l'Est, le long de l'Inde. Une troisième branche initiée au Nord de l'Inde aurait donné

naissance à la subduction fossile d'Amirante, au large des Seychelles (Fig. 7).

3 Conclusions

Grâce aux modèles, nous suggérons donc que la subduction Sud Néotéthys se serait propagée sur environ 6000 km pendant plus de 30 Ma à partir d'une subduction initialement située près d'une tête de panache. L'évolution distincte des branches de subduction pourrait également expliquer la diversité des âges de formation des ophiolites et des conditions de pression et de température enregistrées dans les ophiolites.

L'initiation de la Subduction Sud Néotéthys par le panache mantellique de la Réunion aurait eu des conséquences importantes sur la géodynamique de la région :

l'augmentation de la longueur des segments de la Subduction Sud Néotéthys, maximale à environ 65 Ma, aurait favorisé l'augmentation des vitesses de convergence entre l'Inde et l'Asie, menant finalement à leur collision et à la formation de l'Himalaya, ainsi qu'à la réorganisation des limites de plaques dans toute la région. Ceci révèle que les panaches mantelliques affecteraient la tectonique des plaques sur le long-terme grâce à leur implication dans l'initiation de subductions.

4 Perspectives

Pour valider ce scénario d'évolution, il est nécessaire d'étudier de façon plus détaillée les roches métamorphiques de la base des ophiolites de la Néotéthys et d'investiguer le plancher océanique de l'Océan Indien.

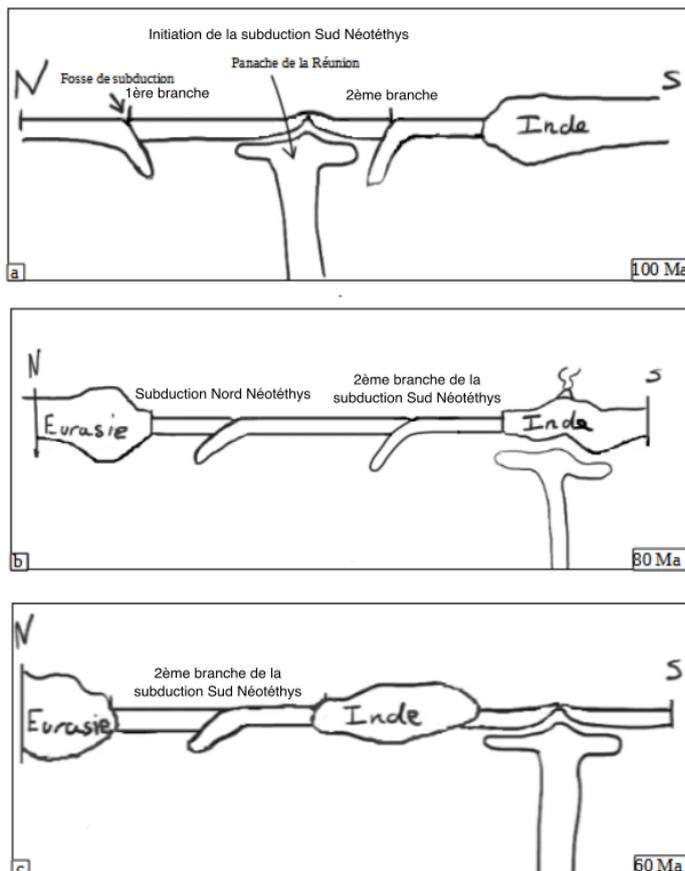


Figure 8 : Coupes lithosphériques à (a) 100 Ma, (b) 80 Ma et (c) 60 Ma selon les coupes indiquées en bleu sur la figure 7. Les échelles verticales ne sont pas respectées



Références :

Rodriguez, M., Arnould, M., Coltice, N., & Soret, M. (2021). Long-term evolution of a plume-induced subduction in the Neotethys realm. *Earth and Planetary Science Letters*, 561, 116798.

Ont participé au travail d'écriture de cet article, en collaboration avec Maëlis Arnould, chercheuse en géodynamique interne (par ordre alphabétique) : Soumaya BENAZOUZ, Maame-Anokyewaa BONSU, Lou-Anne BRUILLON, Nahil CHEMAA, Yasmina DERDOUR, Jean FABBRO, Clarisse JUNG, Tikilogi KELETAONA, Appia LAULAN, Léonora LITT, Jules MASTRANGELO- -TIEN-HONG, Paul MERCKEL, Aaliyah NICULAU- -BUNWAREE, Yamanda NOURA, Sam OGWANG, Antoine PARAISSO, Hervé RIEHL, Claire SCANDELLA, Tiffany STIEVENARD, Romane STOHRER, Christ TESSANI, Maxime ZEMKE.

Comment citer cet article : Maëlis Arnould et la terminale spécialité SVT du lycée Sainte Clotilde (Strasbourg, FR), *Un panache mantellique à l'origine de la fermeture d'un océan*, Journal DECODER, 2023-01-25



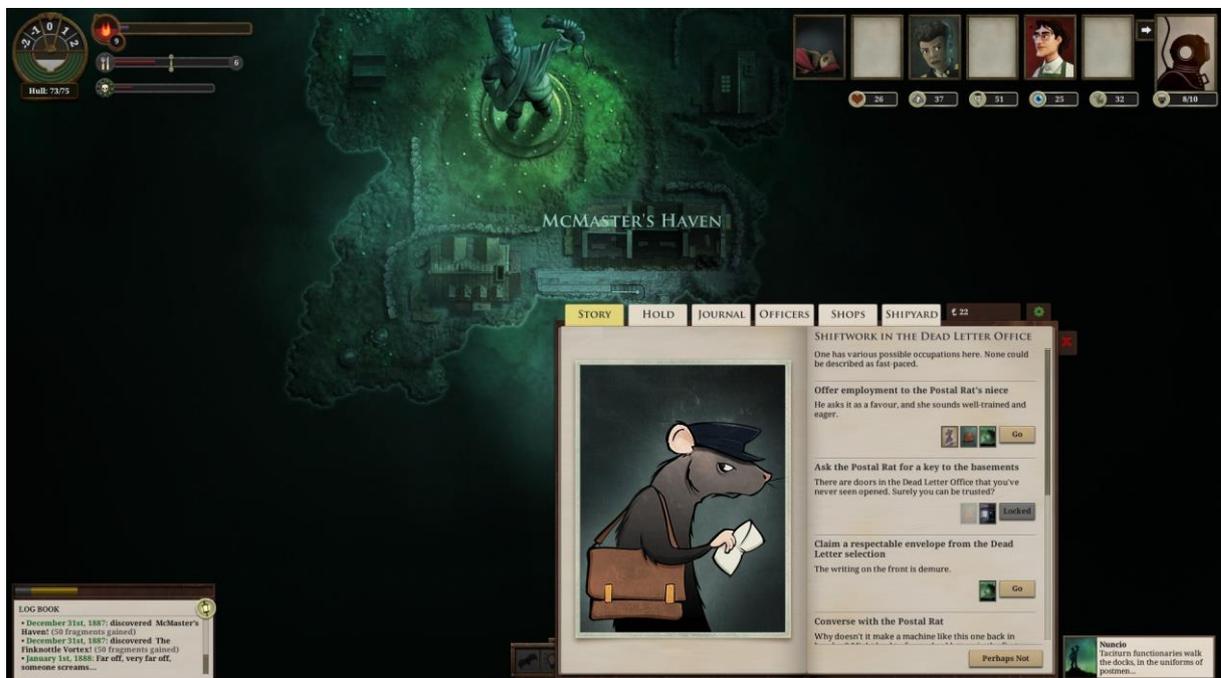
Traduire une oeuvre littéraire en jeu vidéo : L'Appel de Cthulhu (1928) et Sunless Sea (2015)

Julien Bazile¹ (chercheur) et la classe de 2nd Bac pro GATL du Lycée professionnel des métiers de la mode et des services (Angoulême) de Mme Urban² (*la liste des élèves est mentionnée en fin d'article*)

Article original/Original article: Bazile, Julien. « Ludoformer Lovecraft : Sunless Sea comme mise en monde du mythe de Cthulhu ». *Sciences du jeu*, n° 9 (28 mai 2018). <https://doi.org/10.4000/sdj.996>.

Institution :¹ Université de Lorraine, CREM, France ; Université de Sherbrooke, Canada

² Lycée professionnel des métiers de la mode et des services, 12 Rue Louise Lériget, 16000 Angoulême



©Julien Bazile, « Ludoformer Lovecraft : *Sunless Sea* comme mise en monde du mythe de Cthulhu », *Sciences du jeu* [En ligne], 9 | 2018, mis en ligne le 06 juin 2018, consulté le 23 janvier 2023. URL : <http://journals.openedition.org.docelec.univ-lyon1.fr/sdj/996> ; DOI : <https://doi-org.docelec.univ-lyon1.fr/10.4000/sdj.996>

Résumé :

Au moyen d'une analyse de la conception de niveau et de la construction que le jeu *Sunless Sea* met en place, il s'agira de voir comment la proposition donnée par le jeu permet de redéployer la narration écrite par Lovecraft. Ce modèle de la formation du jeu en s'amusant souhaite donner de nouveau points de vue sur la ressemblance entre le texte littéraire et le jeu vidéo : le mythe de Cthulhu est comme une source qui fait apparaître des univers fonctionnels qui en sont issus.

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.



Mots clés : Lovecraft, littérature, jeu vidéo, traduction, game design

I Introduction

La quantité de travaux et de réflexions sur HP Lovecraft, par des écrivains connus comme par des universitaires, témoigne du rayonnement du romancier. La recherche ne se satisfait pas aujourd'hui d'étudier les livres de cet auteur. Qu'il s'agisse d'inspiration ou d'adaptation, on peut voir que l'univers de Cthulhu se transmet par le nombre et la différence des sujets qui s'en inspirent. Cette empreinte est perceptible par exemple dans le jeu *Sunless Sea*. On peut donc se demander quelles sont les caractéristiques du support vidéoludique assemblées pour s'adapter à l'expérience du jeu et donner à voir l'irreprésentable, tout en conservant la suggestion de ce qui est effrayant.

II La ludoformation comme mise en monde ludique

L'utilisation dans le jeu du mythe de Cthulhu ne repose pas sur une intégration de l'œuvre littéraire de Lovecraft. Passer de l'œuvre littéraire à un jeu vidéo est perçu comme une action qui permet au joueur d'expérimenter d'un monde fantastique. La « ludoformation » désigne ici le changement d'un support littéraire vers un support audiovisuel pour jouer. L'enjeu est de remarquer comment l'œuvre du jeu peut jeter un éclairage nouveau sur l'œuvre de l'écrivain. La ludoformation consiste en une expérience ludique, basée sur la mise en place d'un récit accompagné d'éléments géographiques qui respectent l'œuvre originale. La pratique du jeu est comprise comme un plan d'aventure (parcours-découpage en activités). Cela aide à comprendre le jeu de l'histoire de Cthulhu dans *Sunless Sea*. Il ne s'agit pas de prendre le fils d'évènements écrits dans le livre, mais de

construire un système composé de différentes étapes ou cybertexte pour permettre au joueur d'évoluer au moyen d'alternatives précises. Cette démarche augmente l'esthétisme par rapport au roman.

De ce point de vue, la légende de Cthulhu dans l'œuvre de Lovecraft est imaginée comme un cadre dans lequel se déroule plusieurs actions de ses romans ou nouvelles. Le jeu *Sunless Sea* sera abordé pour étudier la façon dont un récit peut s'afficher dans un jeu vidéo. Le « mythe de Cthulhu » fait allusion à une part de l'œuvre de Lovecraft. Il se rapporte à un univers fantastique, qui donne accès une série de personnages confrontés à des dieux aliens. Par la suite, le mythe est continué et conçu par des prolongateurs. Cet univers compose un monde fabuleux qui fournit aux auteurs qui l'utilisent un certain nombre de règles régulières à respecter. Le mythe de Cthulhu peut ressembler à une architecture et peut mettre en relation un collectif d'éléments de manière systématique. Ne pas connaître l'œuvre de Lovecraft ne gêne pas la compréhension du jeu. L'un des points forts du jeu est le fait que chaque joueur a un rôle important dans le jeu vidéo, comme le héros dans le récit lovecraftien.

Les comportements du joueur peuvent être influencés par une reprise trop sérieuse de l'œuvre, ce qui gâche l'expérience libre du jeu. Il ne s'agit pas de produire une suite à l'auteur, mais de reconnaître Lovecraft dans un jeu, pour offrir des possibilités de jeu pour l'action du joueur et un ensemble de données qui satisferont les attentes de l'utilisateur.

La création d'un jeu vidéo crée une ressemblance entre une source littéraire et sa mise en jeu, en ajoutant des règles formelles qui cadrent l'action du joueur. Ces règles s'insèrent dans un dispositif d'alternatives utilisées par les joueurs pour réagir avec le





système de jeu. Avec des origines liées au jeu d'aventure *Echo Bazaar*, *Sunless Sea* offre la possibilité de s'intégrer à un univers victorien composé du gothique et du steampunk. Le héros-joueur devient le capitaine d'un navire qui explore la « Zee », une mer souterraine. La mission du joueur est de réaliser les objectifs fixés au début du premier niveau. Le jeu consiste à réaliser des quêtes en collectant des éléments, grâce au dialogue entre les personnages et à l'exploration de l'environnement.

Dans une première partie, nous verrons comment certains jeux vidéos sont aptes à être saisis comme une continuité avec l'œuvre de Lovecraft, comme une adaptation. *Sunless Sea* propose au joueur une expérience originale qui lui offre la possibilité de d'expérimenter certaines séries d'évènements. Mettre en jeu le mythe de Cthulhu suppose de modifier le schéma narratif pour l'adapter à un environnement de jeu vidéo. *Sunless Sea* permet d'élaborer une histoire par le biais de l'hypertexte et du cybertexte, en la réglant sur les lois qui gèrent le monde.

III Aux sources des jeux lovecraftiens : traductions formelles et traductions fonctionnelles

Parmi les œuvres qui s'inspirent de Lovecraft, beaucoup sont des jeux : jeux de cartes, de rôle sur table, de plateaux. On constate que dans cette liste le jeu numérique prend une place importante. De *The Lurking Horror* à *The Call of Cthulhu*, de nombreuses années sont passées et plusieurs créations ont un lien avec Lovecraft dont on remarque l'influence sur les jeux vidéos. Quels que soient les sites consultés, les résultats concernant Lovecraft varient. C'est pourquoi, l'idée d'assimiler un jeu vidéo à une œuvre originale expose le public à deux obstacles :

premièrement, cela reviendrait à réutiliser des références et des caractéristiques d'une œuvre sans pour autant pour mettre en avant tout ce qui constitue l'histoire en elle-même dans un nouveau contenu. Ce ne serait donc pas fiable. Ainsi selon Harvey, adapter une œuvre consiste à la résumer et en prendre les caractéristiques les plus importantes : ce sont des choix de transformation d'une histoire, donc l'invention d'une nouvelle forme.

Le second obstacle serait de mettre en valeur seulement quelques termes tout en prétendant s'identifier à l'œuvre comme le fait Silicon Knights dans le jeu *Eternal Darkness : Sanity's Requiem*.

Donner au joueur l'impression d'être une créature insignifiante qui reste engagée dans une attitude exploratrice suffit-elle pour témoigner d'une origine lovecraftienne ? *Eternal Darkness* choisit une équivalence plus pratique, un jeu qui propose aux joueurs une « jouabilité lovecraftienne ». Cette idée serait un mode d'interaction qui s'appuierait sur une conception réduite du joueur et son incapacité à comprendre le monde dans lequel il se déplace, ou dans lequel ses actions n'auraient aucune influence sur le reste du jeu. Pourtant ce changement ressemble si peu à l'univers lovecraftien qu'il ne peut prétendre avoir une similitude avec Cthulhu.

Si des réécritures sont possibles, en changeant cette œuvre dans la langue du jeu vidéo, les « éléments horrifiants fondamentaux » ne suffiront pas. Prendre appui sur les combinaisons de jeu favorables au genre de l'horreur ne suffira pas non plus. Une manière d'étudier la transposition de la légende de Cthulhu proposée dans *Sunless Sea* peut consister à comparer le récit du jeu et celui de Lovecraft.

IV Lovecraft mis en monde. Le jeu comme dialogue entre le navigateur et la carte





Le jeu vidéo raconte une histoire pour jouer grâce à des éléments dynamiques. Il s'appuie sur les éléments du mythe. Une force réciproque existe entre le joueur et le jeu. L'histoire de Cthulhu en jeu consiste à préparer différents niveaux à franchir, à enchaîner des actions et des rebondissements. La couleur et l'ambiance dans le jeu *Sunless Sea* rappellent Lovecraft. Cette animation du jeu vidéo révèle la programmation d'un texte électronique : le jeu est contrôlé par le joueur en fonction des propositions du jeu. Il ne faut pas négliger les détails considérables du jeu : il a un lien avec l'histoire de Lovecraft. La mise en forme du jeu rend possible la comparaison avec l'histoire du mythe de Cthulhu.

V « Au milieu des noirs océans de l'infini ». Cartographie de l'angoisse

H.P. Lovecraft a manifesté son intérêt pour l'architecture, et aussi pour le pouvoir symbolique de ses décors. Pour les critiques de l'auteur, son œuvre s'appuie sur une architecture de l'horreur. Le récit lovecraftien, comme le nouveau design de *Sunless Sea* qui évoque des constructions monstrueuses d'un autre monde, est construit de façon à évoluer parmi celles-ci, et permet par « éclairages successifs » de raconter une histoire. L'idée de l'atrocité lovecraftienne relie le lecteur et le personnage : chacun progresse à son rythme en découvrant des lieux nouveaux et des actions. Les joueurs évoluent dans une partie de cet univers fictif. Le héros de Lovecraft comme le joueur sont amenés par l'écrivain à faire face à une forme d'horreur active. Elle n'est pas un des principes du récit, mais elle cadre bien avec les mouvements d'un agent dans un espace donné.

Dans beaucoup de jeux, le cadre divertissant est un espace de jeu dont le personnage doit prendre la maîtrise. A

l'opposé, dans *Sunless Sea*, la reconnaissance des lieux inhospitaliers est onéreuse pour le joueur. La maîtrise de l'espace ou le mouvement dans le jeu permet d'avancer dans le jeu et montre aussi l'avancement dans le jeu. C'est également le cas dans les jeux de tactique, de tir, de course, ou de casse-tête. Les univers vidéoludiques font souvent de leurs terrains de jeu des zones de combats où s'étendent des pouvoirs, où des richesses sont exploitées. Une organisation de jeu ne se résume pas à son cadre spatial : celui-ci peut proposer au joueur certains mouvements en lien avec le jeu, l'informer sur des actions possibles ou indiquer une atmosphère favorable à certaines attitudes.

D'abord, la connaissance du monde du jeu est faite par une série d'affichages destinés à informer le joueur sur son évolution dans le jeu vidéo. Dans *Sunless Sea*, les jauges nécessitent la surveillance du joueur, parce qu'il doit adapter sa stratégie pour qu'elles ne s'épuisent ou ne se remplissent pas totalement. *Sunless Sea*, comme les autres jeux qui inspirent de l'angoisse, repose sur une habitude de gestion de ses réserves par le joueur, ce qui est une complication pour lui.

La position du joueur sur la mer est représentée par un petit bateau au centre de l'écran, comme écrasé par l'univers par lequel il progresse. Aucune carte de l'*overworld* n'est disponible jusqu'à ce que les différentes zones soient visitées : cela oblige le personnage à évoluer en traversant l'inconnu. Le parcours dans la mer du jeu vidéo se fait grâce à une cartographie qui peut la rendre accessible mais aussi plus angoissante. C'est à partir de cet espace que le joueur prend la place du conteur et progresse dans le jeu. Les autres jeux proposent des mers très peuplées, *Sunless Sea* expose un ensemble d'un vide frappant. Les idées de l'action laissent place à l'idée de la rencontre. Le joueur lui-même analyse le monde où il évolue à la recherche





d'une direction.

Après son aventure, lorsque le joueur croise enfin quelque chose, les codes de représentation sont ceux de la carte maritime et des journaux de bord. La marche du temps est rythmée par l'arrivée répétitive de dates dans un carnet de route situé en bas de l'écran, complétées par des relevés et des observations sur le monde autour du joueur. L'information est médiocre et le joueur doit décider de la suite de son aventure dans un état constant de crise. Les différentes sources d'informations sur la situation du joueur clarifient sa relation au monde.

Bien que cachés et indéchiffrables, le temps et l'espace d'habitation font l'objet d'un décompte, de calculs, dans l'œuvre littéraire de Lovecraft. Dans le jeu, ils permettent au joueur de décider d'une stratégie afin de poursuivre sa progression. Les conditions de ce parcours ne reposent pas sur une horreur vive et superficielle, mais bien davantage sur une angoisse, causée dans le jeu comme dans l'œuvre par le même élément.

Le monde du jeu est montré comme au travers d'un écran, et constitue une vue du monde normalisée. Cette vision pourrait être celle des héros lovecraftiens qui progressent dans un univers qu'ils tentent de déchiffrer pour le rendre moins hostile. Les différents êtres qui peuplent le jeu ne se montrent pas forcément plus compréhensibles une fois rencontrés. L'habitude des noms curieux ou monstrueux pour les noms d'îles, de créatures, de machines, de personnages, rappelle le nom des monstres de Lovecraft.

L'un des éléments les plus caractéristiques de ce monde mystérieux se retrouve aussi dans la manière dont le paysage est conçu par ce programme. À chaque nouvelle partie, le lieu des différentes îles est changé par la partie suivante : d'une partie à l'autre, chaque île se trouve toujours dans une certaine région de la carte, mais placée autrement. Cet agencement

de l'univers du jeu et les éléments de la conception de cet espace sont réalisés, concrétisés, par l'action d'un joueur qui fait un parcours.

Le procédé est ancien, et certains jeux ont fait leur succès du contrôle de l'aléatoire. Toutefois, ces éléments de jeu n'ont pas la même signification selon les données mobilisées par le joueur. Ce procédé est la garantie d'un retour des scènes de combats, une promesse de challenge qui s'offre de manière continue au joueur. Dans un jeu d'exploration fortement narratif, il est davantage équivalent de danger, de progrès périodique ou d'hésitation.

Le procédé de changement qui se rapproche le plus de la légende de Cthulhu est dans le rapport de Lovecraft à l'architecture et à son pouvoir significatif. *Sunless Sea* se comprend comme un système qui affiche « une narration algorithmique » c'est-à-dire « un système qui se caractérise par un ensemble de règles [préconçues] et la possibilité d'y introduire des [changements] ». La structure par niveau contient les dispositifs divertissants qui permettront au joueur de produire les événements qui établiront l'histoire. Le joueur ne découvre donc pas uniquement des aventures préconçues mais il les forme directement : il est en même temps celui qui parcourt un monde imaginaire et celui qui produit un récit de ce monde.

VI « L'unification des connaissances dissociées »

Sunless Sea est un jeu qui se développe dans le monde de la recherche, de l'échange et du commerce. Les morceaux d'histoire découverts par le joueur sont vendables dans le jeu. Le joueur parcourt des terres, récolte des rapports pour les revendre. Le joueur s'implique en partie sur un plan tactique et





encadre la disponibilité ou l'épuisement de ses ressources. Tous les choix offerts au joueur ne sont pas exposés. C'est au joueur de soupçonner parfois l'importance des choix. Observer que les éléments soient emboîtés les uns avec les autres lui permet de jouer. Le joueur a plusieurs missions à accomplir ce qui engendre des tensions narratives.

Le jeu crée une expérience narrative singulière en alternant la navigation maritime avec des sessions de navigation dans des hypertextes. Une part de l'exploration du monde s'effectue au moyen d'un livre de bord, sorte d'interface par laquelle le joueur peut suivre sa progression, obtenir des items et des ressources pour la suite. Ce livre remplit à tour de rôle celui de journal et de tableau de bord permettant de réunir des informations et des données sur la session de jeu. C'est grâce à cela que s'effectue une progression narrative hypertextuelle. Le jeu *Sunless Sea* offre une pratique ludique et narrative. Toutes les îles ou parties visitées proposent au joueur une occasion d'explorer. Le joueur à cet instant fera face à des choix narratifs. Cela demande au joueur une gestion importante de ses ressources, entre manques et gains de substances utiles. Pourtant, cette permission narrative sollicite le joueur : il doit penser comme un acteur en plein parcours et pas seulement choisir une tactique pour entrer en jeu. Ces prévisions narratives construites sur le cheminement du joueur réunissent un peu *Sunless Sea* et les « livres dont on est un héros ».

Le joueur ne décide pas seul du parcours narratif : un auteur limite les possibilités pour ensuite faire intervenir le joueur. Mais l'auteur ne décide pas de l'ordre d'apparition des éléments du jeu, tout comme le concepteur du jeu ne contrôle pas la partie. Le joueur peut mener des stratégies. C'est le déséquilibre entre ce qui est prévu par l'auteur-concepteur et ce que le joueur choisit qui crée le jeu. Dans

Sunless Sea il n'y a pas qu'un seul schéma narratif : le récit progresse avec l'avancée du joueur selon s'il gagne ou perd la mission, et c'est comme cela que les événements se succèdent les uns après les autres. Le jeu met en scène des possibilités d'actions. Le navire avance sur la mer avec lenteur, ce qui fait retarder l'expédition. Il faut prendre en compte plein de choses qui peuvent mettre en péril la mission, sans pouvoir recommencer la quête si on ne réussit pas. Si le joueur perd, il a la possibilité de commencer une nouvelle partie, avec certains profits. Le joueur, comme le héros de *L'appel de Cthulhu* reçoit une quête qu'il devra éclaircir, laissée par d'autres qui ont échoué avant lui. Le jeu offre au joueur un objectif au commencement de sa quête et aménage sa partie. Les objectifs sont clairs : c'est le joueur lui-même qui choisit ses quêtes. Il a la possibilité de suivre les pas du dernier joueur. *Sunless Sea* ressemble un peu à un mythe. Le principe du jeu repose sur le principe de l'enquête. Les tentatives s'enchaînent et les parties aussi.

Pour faire apparaître des récits, tout est géré par des règles « lovecraftiennes », dans un monde terrible qui survit au protagoniste. Du fait de la génération procédurale de la carte, les efforts d'un joueur consciencieux qui aurait cartographié le monde qu'il a parcouru lors de sa précédente partie se retrouve presque réduit à rien. C'est un nouvel élément qui rattache *Sunless Sea* à la famille des cybertextes : le parcours du joueur peut être couronné de succès ou donner lieu à un échec. Cette nouvelle unité (celle du joueur) ne détruit pas toute forme d'unité (celle du jeu).

Les histoires d'horreur, de voyage et d'enquête sont au centre des moteurs du jeu. La monnaie d'échange motive les joueurs pour qu'ils effectuent leurs nouvelles aventures. Réussir la quête ici dépend de l'attention aux histoires du jeu. Leur étude,





leur récolte, permet d'en comprendre le sens et de s'appuyer sur elles pour avancer dans le jeu.

VII Du monde ludique au monde narratif

La source première d'un jeu réside dans son appartenance générique : une œuvre originale est un ensemble d'éléments correspondants à une orientation générale par rapport au jeu. Ce dernier doit être compris essentiellement à travers sa capacité à jouer, laquelle s'inscrit dans le genre relatif aux jeux vidéos. Les jeux vidéos fonctionnent selon un régime d'arrangement compliqués. Ils peuvent eux-mêmes admettre plusieurs formes médiatiques telles que le son, l'image animée, le texte. L'originalité est dans une composition de règles variables et de contenus média qui forment une structure compliquée. Chacune des sources de *Sunless Sea* peut former à elle seule un accord concluant avec le mythe, mais ensemble elles assurent le matériau rassemblé pour construire un monde de jeu qui, lui, peut être lu par son ascendance avec le mythe de *Cthulhu*.

L'une des spécificité du jeu vidéo *Sunless Sea* est qu'il contient des règles de plusieurs types. Ainsi, les mécanismes des jeux de rôles classiques contiennent des quêtes, la liberté d'exploration et des compétences à améliorer. Cela pousse les joueurs à la découverte et l'observation. Alors que les éléments de *rogue-like* (sous-genre de jeu vidéo de rôles) punissent les joueurs de leurs erreurs. Le « genre Lovecraftien » peut introduire ce jeu ; ce n'est pas une catégorie enrichissante reposant sur un ensemble de mécaniques définies, mais plutôt un ensemble formé de plusieurs éléments qui portent la trace de ses successions et de ses influences.

Inscrire un jeu dans la lignée d'un type de jeu vidéo consiste souvent à chercher dans ce jeu une continuité en termes de mécanique de

jeu. Cependant, ce sont les jeux eux-mêmes qui participent à la définition des genres. De même, inscrire un jeu dans le prolongement d'une œuvre littéraire fournit des consignes pour élaborer le cadre du jeu. Mais si un jeu s'appuie seulement sur les genres littéraires, alors il risque de faire de l'œuvre originale un prétexte pour recréer des jeux fondés sur une famille de mécanique d'épreuves. C'est pour cela qu'on peut noter que le comportement de la terreur cosmique s'oppose à l'art de bien parler habituel dans les jeux de tirs et de survie. Les jeux qui aboutissent à de bons résultats en tant qu'adaptation de Lovecraft semblent être ceux qui parviennent à maintenir un équilibre entre le contenu et les ambiances chez Lovecraft.

Un jeu vidéo doit laisser la priorité au joueur. Il doit se délivrer du poids d'une sollicitation pressante relatif à l'auteur. Si le récit est littéralement installé et que le joueur ne fait que la dérouler, il n'y a plus de jeu. De même, recopier un monde créatif très hostile qui constitue un système empêcherait toute interaction. Un joueur qui serait fréquemment frappé de peur devant la terreur découverte rendrait le jeu injouable. Il en est de même pour un univers de fiction qui serait parfaitement indifférent à la présence du joueur ou qui lui serait inaccessible. Pour mettre en scène un monde lovecraftien qui laisse la place au joueur, le concept qui semble pertinent pour penser à cette mise en monde est donc la littérature électronique ou cybertexte.

Un jeu c'est la construction d'un texte, un assemblage d'éléments qui a du sens, et qui fait du joueur « l'auteur du récit dans le jeu », du moins l'une des forces qui va occuper le rôle de la personne qui raconte. Il s'agit donc de faire dépendre l'apparition des récits du jeu aux interventions du joueur. Aarseth le résume ainsi : « je veux que ce texte raconte mon histoire, l'histoire qui ne pourrait pas être sans





moi ». Le cybertexte est défini ainsi par Espen Aarseth : « il est un univers de jeu [...] il est possible de l'explorer, de s'y perdre et découvrir des passages secrets dans ces textes, non de manière métaphorique, mais grâce aux structures mathématiques de la machine textuelle ». Il remarque aussi que la forme du jeu vidéo est dépendante des questions d'organisation spatiale : les lois physiques et sociales qui administrent l'espace (réel ou irréel) sont détournées, remplacées par les règles du jeu.

Une transformation d'œuvres littéraires en jeu vidéo doit alors prendre la forme d'un ensemble de pratiques organisées en fonction d'un but pour proposer au joueur une action concrète. Pour que la cartographie du monde de terreur cosmique de Lovecraft fonctionne, il faut penser à la capacité d'agir librement et à la curiosité du héros-joueur qui doit évoluer dans le jeu. Cette faculté de juger ses propres actes selon son désir d'évoluer dans un univers, d'élaborer une histoire, est l'un des points forts de l'adaptation de Lovecraft dans le jeu vidéo d'aventure.

Le scénario programmé pour *Sunless Sea* met en place plusieurs dispositifs : l'existence d'éléments aléatoires contrôlés fait abandonner l'idée d'un calcul stratégique. Pour maintenir une attitude amusante, il est nécessaire de créer une situation dans laquelle le joueur doit décider dans l'incertitude en dehors de toute « contrainte absolue ». Finalement, la personne qui raconte les éléments et qui joue en même temps à *Sunless Sea* reproduit quasiment le héros de Lovecraft par sa curiosité et pas seulement par sa possibilité à voir passivement. Lors d'un problème pour plusieurs éléments du jeu, comme pour un infini d'informations sur la partie, le joueur est la solution. L'œuvre de Lovecraft sert donc au progrès d'une structure divertissante grâce à l'accord du joueur.

VIII Conclusion

La difficulté à remettre un jeu dans la continuité d'une œuvre littéraire nous a conduit à comprendre que les remédiations du mythe de Cthulhu pouvaient s'accomplir soit de manière exagérée littérale, soit au contraire en ne s'appuyant que sur des mécaniques et des conventions de genre vidéoludiques.

La formation par le jeu permet de replacer un jeu vidéo dans le prolongement d'une œuvre littéraire en contournant ces obstacles, c'est-à-dire en évitant les éléments ennuyants de l'œuvre. Un jeu peut inclure des composantes (objets, personnages, lieux) qui proviennent d'œuvres littéraires. Ce monde divertissant s'appuie sur des règles qui ne sont pas forcément précises, mais sont nécessaires au développement de l'histoire. Chaque donnée visuelle, chaque dispositif de narration ou chaque nom propre a pour but d'instruire sur les règles qui dirigent l'univers dans lequel elles se trouvent.

Sunless Sea peut être considéré comme une traduction de la mythologie de Cthulhu : il s'agit d'un univers fictif collectif, développé par plusieurs auteurs et basé sur le travail de l'auteur Howard Philips Lovecraft, et joué du point de vue narratif par un personnage mis en rapprochement avec le joueur. Ce récit divertissant amène à la création d'un espace virtuel, par imitation du mouvement du lecteur dans l'espace travaillé dans le jeu. Ce jeu propose une expérience de récit à choix qui modifie le cours de l'histoire, et des niveaux aux ambiances différentes. *Sunless Sea* se révèle comme une méthode pour engager les joueurs grâce à son concept de niveau.

L'histoire en tant que telle est virtuelle et hypothétique : elle n'existe pas avant que le joueur n'ait mis à jour l'une des issues possibles de cette histoire, qui dépend de son expérience de jeu.





Deux causes sont possibles pour clôturer une expérience de jeu : tout d'abord la mort (qui va être rencontrée fréquemment lors de l'aventure du joueur, et qui a pour effet un retour au port de départ et une perte d'informations comme l'emplacement des îles par exemple), et la réussite de la partie.

C'est donc comme ça que l'interprétation récréative par le jeu vidéo d'une œuvre littéraire peut se comprendre. *Sunless Sea* évolue en un texte ludique et narratif, une organisation évidente d'actualisation du récit en harmonisant la présence d'un auteur, et en prévoyant des éléments supplémentaires en plus des règles régissant leur arrivée et leur forme avec celle du joueur.

Si le mythe de Cthulhu est vu comme une copie de la manière de voir le monde de Lovecraft, on s'aperçoit qu'un récit littéraire

est bel et bien une méthode pour une réelle création, fixe et assez durable, et ainsi en donner l'accès au lecteur. Ludiformer, c'est peut-être essayer de réaliser un chemin inverse. Lovecraft fonde des règles laissées à l'appréciation de ses continuateurs : auteurs, concepteurs, lecteurs ou joueurs.

Les données de la conception du jeu font écho à celles de H. P. Lovecraft ; celui-ci expose au lecteur un univers dans lequel le langage qu'il croit connaître ne suffit pas pour construire du sens. Dérouler une narration consiste à jouer pour le joueur. L'auteur du jeu écrit pour construire et programmer auparavant une machine à produire des mondes possibles selon les choix opérés par le joueur qui devient, comme on l'a déjà souligné, le co-narrateur de ce récit.

Ont participé au travail d'écriture de cet article, en collaboration avec Ambre Salis, doctorante en écologie (par ordre alphabétique): Nachirati ALI ; Widad ATTOUMANI ; Yasmine BACAR AHAMADI ; Rania BEN SAAD ; David BILLARD ; Rayan BONNET ; Inès BORGES ; Yasser BOUAZZA ; Rahamatou CHAKA ; Clara DAGANAUD ; Nassim DAOUDI ; Maëlys FAUCONNET CAMIER ; Tania GABOR ; Sarah GABOROVA ; Nahyla GAID ; Mabawa GASSAMA ; Jean GATIGNOL ; Rifda KUMAR ; Léna LAGRUE ; Najah MARIAM JAMA ; Alicia MARJOLIN ; Nina MARSAUDON ; Mario MIRICA ; Abdou NDIAYE ; Mah SAMBA MIAKA ; Manolya SIMSEK ; Iazadi VELOU ; Dylan VINCENT ; Hélène ZEA

Comment citer cet article : Julien Bazile et la 2nde Bac Pro GTAL du lycée professionnel de la mode et des services (Angoulême (FR)), *Traduire une oeuvre littéraire en jeu vidéo : L'Appel de Cthulhu (1928) et Sunless Sea (2015)*, Journal DECODER, (2023-01-27)



La connexion humain-nature comme voie vers la durabilité : une méta-analyse globale

Gladys Barragan-Jason¹ (chercheuse) et la classe de 2nde² du Lycée Talma (Brunoy) de Mme Lebrun² et Mme Benazza² (la liste des élèves est mentionnée en fin d'article)

Article original/Original article : Barragan-Jason, Gladys, Claire de Mazancourt, Camille Parmesan, Michael C. Singer, et Michel Loreau. « Human–Nature Connectedness as a Pathway to Sustainability: A Global Meta-Analysis ». *Conservation Letters* 15(1), 2021: e12852. <https://doi.org/10.1111/conl.12852>.

Institution :¹ Station d'Ecologie Théorique et Expérimentale, UAR 2029 du CNRS
²Lycée François Joseph Talma, 1, rue des cerfs, 91805 BRUNOY CEDEX



Résumé :

Une méta-analyse de près de 200 études basées sur la mesure de la connexion humain-nature (CHN) montre que cette dernière permet d'améliorer le bien-être et l'engagement des citoyens pour la préservation de la biodiversité. Différentes pratiques permettent de renforcer le CHN dont les plus efficaces sont la pratique de pleine conscience et le contact fréquent avec la nature.

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.



Mots clés : Connexion Humain nature ; développement durable ; préservation biodiversité ; une seule santé

Les objectifs internationaux en matière de protection de la nature n'ont pas été atteints les scientifiques s'interrogent sur les meilleurs leviers pour mener à une mobilisation à la fois durable et efficace. Il s'agit de comprendre pourquoi les citoyens et les gouvernements ont encore du mal à considérer que la santé et le bien-être des humains dépendent de la santé du monde naturel ?

Une explication possible est d'ordre culturel. Les religions monothéistes et d'influents philosophes modernes comme par exemple Kant ont préconisé une discontinuité entre les humains et celui des autres êtres vivants. Ceci a conduit les gens à se considérer comme

dominants et déconnectés du reste de la nature. C'est une vision moderne « occidentale » du monde. Une autre explication est l'urbanisation croissante de la population humaine mondiale. Aujourd'hui, plus de 55 % des humains vivent dans des zones urbaines, et cette proportion devrait atteindre 68 % d'ici 2050. Une conséquence majeure est l'augmentation de la déconnexion des personnes de l'expérience directe avec la nature. La combinaison d'une déconnexion psychologique et physique du monde naturel a pu entraîner une dévalorisation de la nature, légitimant et facilitant ainsi les pratiques destructrices envers la nature par les individus et les sociétés.

Que peut-on faire pour modifier ces tendances destructrices ?

L'IPBES affirme que les objectifs de durabilité ne seront atteints que si les êtres humains transforment leur relation à la nature et que la connexion à la nature devient la norme. Nous définissons la HNC comme la tendance avec laquelle les humains incluent le monde naturel en eux ou se considèrent comme faisant partie de la nature.

Elle peut être mesurée selon cinq méthodes décrites dans la figure 1.



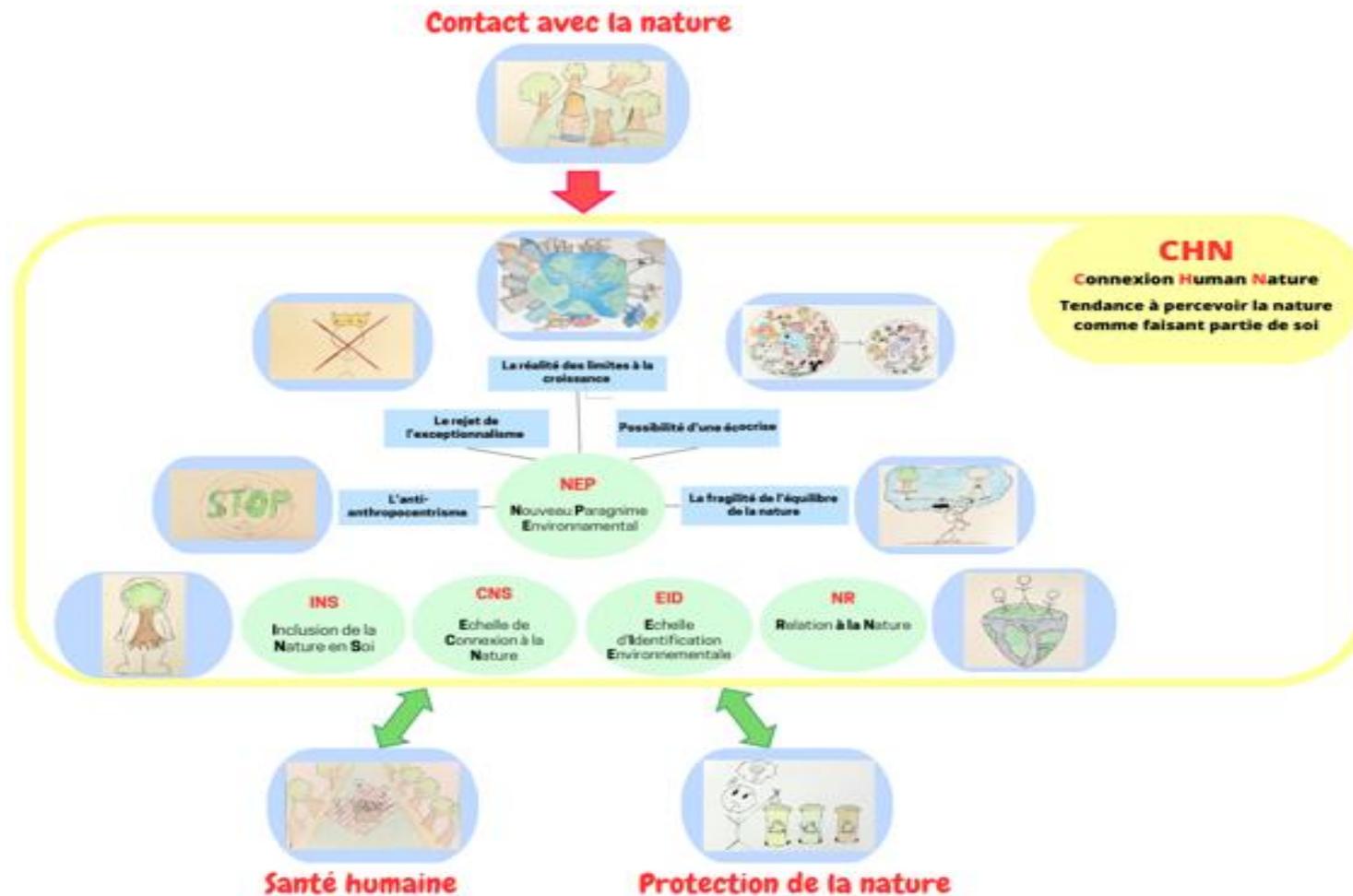


Figure 1. Représentation schématique des différentes mesures de la CHN. La CHN est améliorée par le contact avec la nature et liée positivement à la santé humaine et la protection de la nature (©Baba Slimane, Hamliil, DekkarYenge).



A travers une récente méta-analyse publiée dans *Conservation Letters*, des chercheurs de la Station d'Écologie Théorique et expérimentale de Moulis (SETE - CNRS) ont montré que la connexion humain-nature (CHN) constitue un levier permettant de renforcer le bien-être

et l'engagement des citoyens pour la préservation de la biodiversité.

La démarche de sélection des analyses sélectionnées pour cette méta-analyse est décrite dans la figure 2.

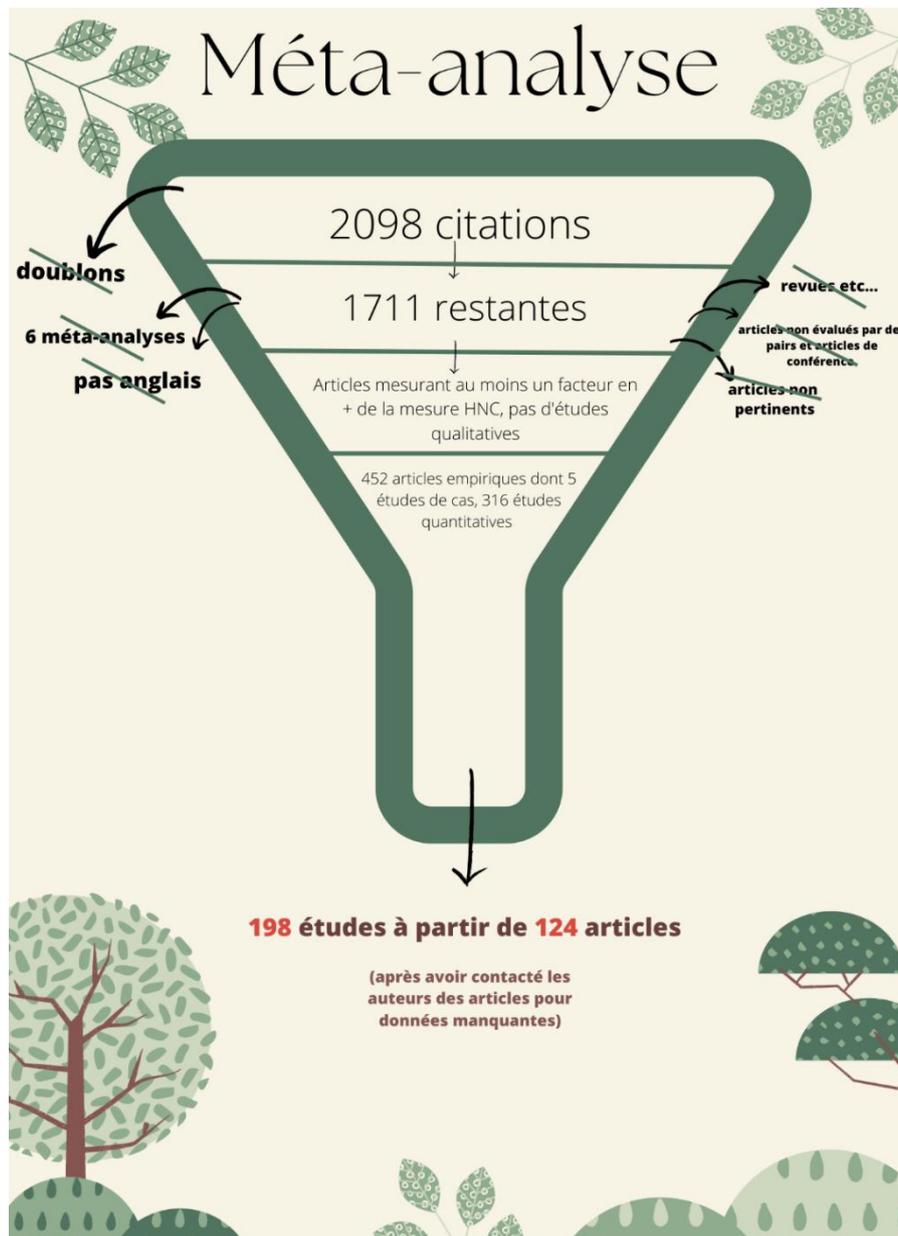


Figure 2. Méthode utilisée pour sélectionner les articles inclus dans la méta-analyse (© Bretonnière, Cormont).

Toutes les études sont fortement biaisées vers les adultes des pays industrialisés puisqu'elles ont été majoritairement réalisées dans ces pays et dans cette tranche d'âge.

Les résultats indiquent que

148 études corrélationnelles révèlent que les personnes avec une forte CHN sont plus heureuses et en meilleure santé, et sont également plus enclines à protéger la biodiversité et à lutter contre le changement climatique (Figure 1).

57 études expérimentales montrent que la CHN augmente après la participation à des interventions comportementales impliquant une exposition à la nature (ex : promenade en

forêt) ou la pratique de la pleine conscience (focaliser son attention sur le moment/environnement présent). A l'inverse, aucun effet n'est observé après des interventions visant à améliorer les connaissances sur l'environnement ou sur la biodiversité (cours magistraux, interventions dans les classes ; Figure 3).

Cette analyse montre ainsi que la CHN a un double effet positif : celui de favoriser à la fois la conservation de la nature et le bien-être humain. Deux impacts qui pourraient être amplifiés via des interventions simples, impliquant un contact avec la nature et des pratiques de pleine conscience (Figure 1 et 3).

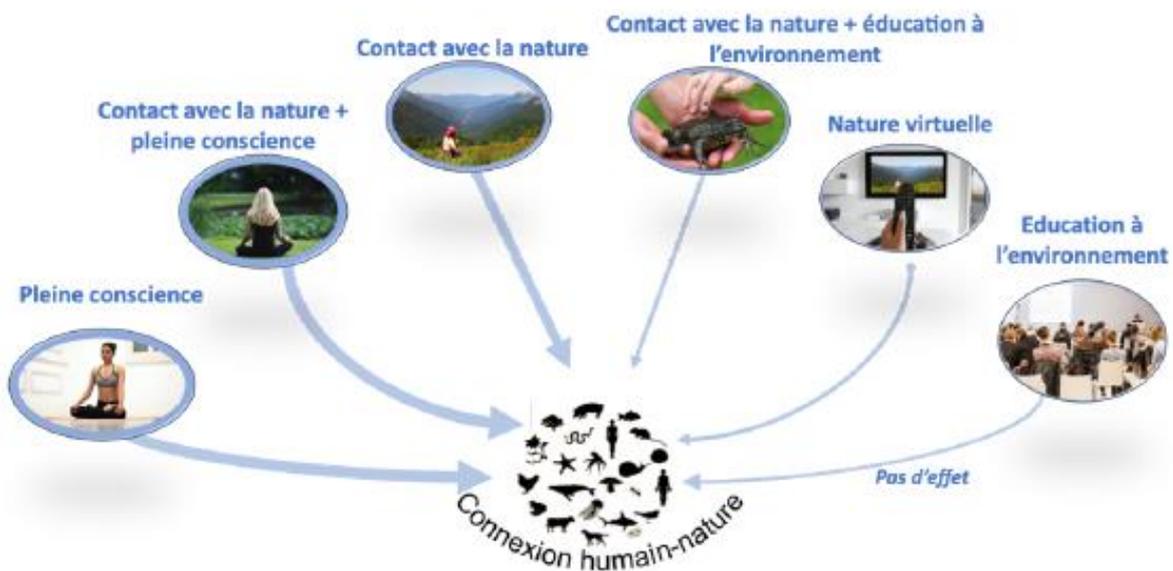


Figure 3 : Effets de différentes pratiques sur la CHN (modifié de Barragan-Jason et al., 2021)

Ainsi, l'amélioration de la CHN via ces deux actions permettrait d'aider les individus à comprendre et à expérimenter à quel point le bien-être humain et la conservation de la nature sont interconnectés.

Renforcer la CHN constitue ainsi un levier pour atteindre un futur durable qui devrait être intégré dans les politiques de conservation.



Références :

Barragan-Jason, Gladys, Claire de Mazancourt, Camille Parmesan, Michael C. Singer, et Michel Loreau. « Human–Nature Connectedness as a Pathway to Sustainability: A Global Meta-Analysis ». *Conservation Letters* 15(1), 2021: e12852. <https://doi.org/10.1111/conl.12852>.

Ont participé au travail d'écriture de cet article, en collaboration avec Gladys Barragan-Jason, chercheuse en psychologie et biologie de la conservation (par ordre alphabétique):

ALI DILLEITA Malika, BABA SLIMANE Madina, BRETONNIERE Zilia, CARREIRA Chloé, COEUR-JOLY Lucas, COLETTA Camille, COLETTA Camille, CORMONT Léane, COTRAIT Camille, DE JESUS DOS SANTOS Gabriel, DEKKAR--YENGE Jamil, DOS SANTOS Pacôme, EL MKAREM Mohamed-Amine, HAMLIL Hadjar, HUSSAIN Ahmad, ISSODIE Natiss, KALONGONI Holiab, KHALLOUKI Léa, KLOUBERT Bastien, KOULIBALI Laura-Profina, LOPEZ Wendy, MABUSO EVA PINTO Britney, MARSOLLIER--BERTON Alexa, NOCARA Manoa, PACHAYAN Cléonice, PONSARD Titouan, REGO Alice, RITTLING Alexandre, ROSSI Mattéo, SACKO Aminata, SELLAMI Flavio, SERGI Clement, SPIEWEK JARDIN Alyssa, VILLEDIEU Théo

Comment citer cet article : Gladys Barragan-Jason et la 2nde du lycée Talma (Brunoy (FR)), *La connexion humain-nature comme voie vers la durabilité : une méta-analyse globale*, Journal DECODER, (2023-06-01)



C6: a small molecule that triggers ovulation

Vincent Robert¹ (technicien de recherche) et la classe de 2nd 7 du lycée Pierre de la Ramée de Mr Joffrey Pruvost-Vandestock² et Mr Maurice Abelli² (*la liste des élèves est mentionnée en fin d'article*)

Article original/Original article: Decourt, C., V. Robert, K. Anger, M. Galibert, J.-B. Madinier, X. Liu, H. Dardente, et al. « A synthetic kisspeptin analog that triggers ovulation and advances puberty ». *Scientific Reports* 6 (1 juin 2016): 26908. <https://doi.org/10.1038/srep26908>.

Institution : ¹ UMR Physiologie de la Reproduction et des Comportements (INRA, UMR85; CNRS, UMR7247, Université François Rabelais Tours, IFCE) F-37380 Nouzilly, France
² Lycée Pierre de La Ramée, 1 rue Jules Siegfried 02100 Saint-Quentin



Abstract:

Currently used methods to trigger ovulation in livestock (PSMG, mainly) are not satisfying in terms of ethics, and safety. This paper provides new insights to control the reproductive function in livestock, by mimicking the natural process leading to ovulation using a chemical compound called C6. C6 is a candidate to replace the kisspeptin, which is a natural molecule that controls the secretion of GnRH by the hypothalamus. This paper analyzes the effects of C6, and clarifies the biological pathways used by the molecule leading to ovulation. C6 is promising and may be usable as a veterinary drug, without the drawbacks of PSMG treatment.

Keywords: Drugs ; GnRH ; Kisspeptin ; Livestock ; Ovulation ; Reproduction ; Reproductive control ;



I Introduction

The reproduction of small ruminants is seasonal. In our latitudes, animals are sexually active from the end of summer to the end of winter. The result is a marked annual fluctuation in the production and the prices of dairy product and meat. In general, the methods of reproductive control in these species aim on the one hand to better synchronize ovulation and, on the other hand, to restart birth during the year. Reproductive control methods are mainly based on the use of hormonal treatments. These treatments are effective but generate side effects, both for the animal and for the environment.

In the year 2000 researchers discovered a small molecule called Kisspeptin (Kp). This molecule has the capacity to function at the neural level and is capable to trigger a series of events within mammals allowing to induce ovulation. In scientific literature, we noticed that among females hit by pathologies leading to sterility, among mammals in a period of non-breeding seasons the rate of some hormones like LH (Luteinizing Hormones) was extremely low. This hormone allows ovulation to start. The administration repeated Kisspeptin, seeing the infusion on 48h allowed the ovulation to start (figure 4C).

The idea to administer Kisspeptin to sheeps to trigger ovulation was not conceivable in a practical point of view. It is hard to imagine a breeder performing an infusion during 48 hours to get the expected results. The problem is not in the quality and the power of the

molecule but its life expectancy. In fact, the Kisspeptin is very quickly degraded by the body at two levels. The first level of degradation is done by enzymes at strategic points of the molecule.

The second is the elimination concerning the kidneys, this molecule is very small. At this point, the Kisspeptin has a lifetime of a few minutes. The aim of the researchers was to create a molecule very similar to the Kisspeptin with the same function. This molecule would have a resistance to the degradation and could stand for a few hours. This modification and its level of action are presented in this publication.

II First stage: modified the Kisspeptin to make it resistant to degradation.

In essence, we can compare the Kisspeptin to a key and its receiver KISS1R to a lock. This interaction Kisspeptin/KISS1R will activate the neuron and will create a chain of actions that will activate ovulation. First, the chemists tried to modify the structure of Kisspeptin to make it more resistant over time. However, changing its structure equals to changing the form of the key.

That's why chemists have tried different modifications (Figure 1). All the molecules have been tested on cells possessing kiss1R. Thanks to very specific reagent, the biologists were able to see the liberation of intracellular calcium and can determine with precision if the interaction kiss/KISS1R (or Key/lock) is effective.



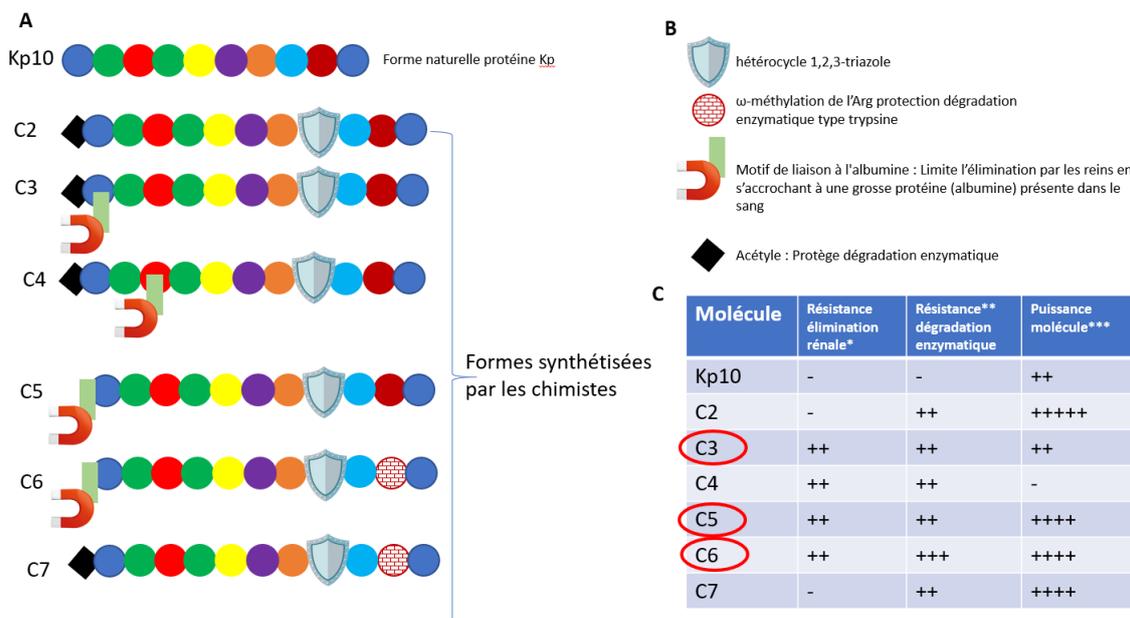


Figure 1: A : Natural forms and set of synthesized biochemical modifications. Each circle of color represents an amino acid. The forms represented in B which correspond to the role of the modification carried out by the chemists. C : Board representing the set of results obtained after measurement of the interaction Kisspeptin/KISS1R

*Non tested in the laboratory but based on their bibliographical knowledge base and of tests in vivo realized previously (like C2). ** tested with a blood serum

The interaction behind the Kp and its receiver causes a chain reaction in the cell that releases Ca²⁺ (which is measurable). The more the molecule is powerful, the more the reaction will be made with a small quantity of molecules

With all these results, the C3, C5 et C6 composites have become very good candidates. Their efficiency but also their resistance to degradation were better than Kisspeptin. We need to know that, before obtaining different composites, a hundred antagonists were tested (see previous publications).

III Second step: test on the sheep to verify its ability to induce ovulation

For this step, several experiences were necessary. At first, the biologists sought which of the three compounds was the best. They carried out regular blood tests, for eighteen

hours. Measuring the hormone that causes ovulation in females called Luteinizing hormone allows researchers to see the effectiveness of different compounds (Figure 2).

Once the best candidate was selected, the researchers tested different quantities of molecules to inject: between 1 and 45nMol. They realized a new test of blood to make sure to measure the LH and then estimated what the best dose was. Then the researchers realized this work in period of seasons and the off-seasons with new measures of hormone like progesterone. It allowed to confirm if there is or is not a triggering of ovulation.

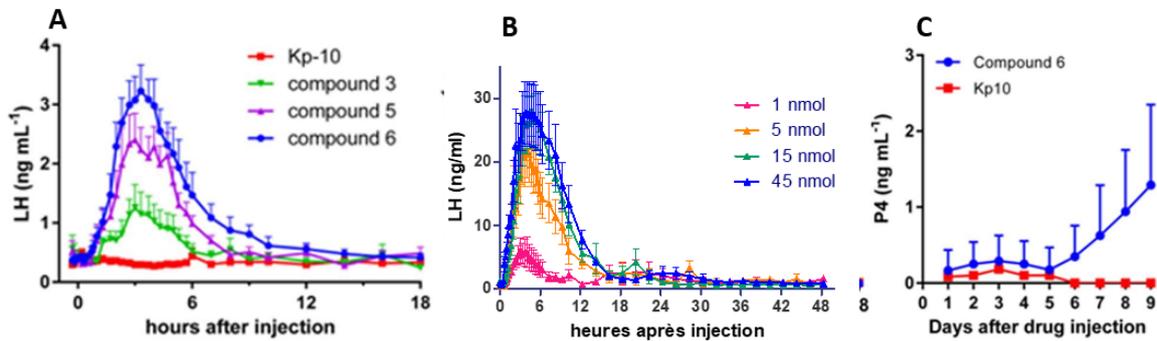


Figure 2: A: Concentration of LH measured in the ewes in the course of time after the injection of the different compounds and natural molecule Kp as control. B: Concentration of LH measured in the ewes in the course of time after the injection of the different quantities of the compound C6 C: Progesterone concentration measured in ewes in the time of the off-season period (Decourt et al., 2016)

When one of the compounds is injected at once, we can see that this triggered the release of LH in the sheep while the natural form can't do that. The best candidate seems to be the compound C6. The more important the quantity of C6 is, the stronger the concentration of LH. It also lasts longer. Nevertheless, we can see between 15 and 45 nMol, the difference of concentration of LH measured isn't interesting. The best dose retained by the researchers is 15 nMol. This quantity injected is extremely weak: 15 nMol of C6 corresponds to the weight of half a grain of sand.

all the ewes had a mark suggesting that mating had taken place. Five months later, 7 out of 10 had babies which were all in good health. These results are similar to those obtained with conventional treatment.

IV Third step: concretize the results

Having responses to prove that there is ovulation is good but... Seeing a lamb born thanks to the injection of C6 is better! To do this, the researchers carried out an injection of C6 to a dozen ewes. They then brought a ram to each of them. Their behavior was observed, and the females showed typical behavioral signs of a sheep in heat (Figure 3).

They then left rams fitted with marking straps with the ewes overnight. The next day,



Figure 3: Mating of a ram with a marking strap: when mating is attempted, the ram leaves a mark on the ewe's back

V Fourth step: Confirm that the molecule passes through the expected biologic mechanisms:

It takes more than cell testing to prove that. Indeed, an organization is much more

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.

complex. This is why other teams have shown that C6 acts like natural Kisspeptin. By various means:

Verification of neuron stimulation at GnRH

First, we need to find and isolate GnRH neurons. How to find some very specific neuron through hundreds of millions?

Some culture to understand: GFP (Green Fluorescent Protein) was described the first time in 1962. Discovery by the Japanese Osamu Shimomura in a special kind of jelly fish *Aequorea Victoria*, she possesses like its name indicates the amazing feature of being a fluorescent protein. During 30 years, this protein remained a simple curiosity, we don't even know what its fluorescence can bring to jellyfish. And yet from 1992, the GFP has become in a few years one of the most powerful tools in molecular and cellular biology. The cellular biology takes over the

GFP in 1992, the American Douglas Prasher had a brilliant idea: use the GFP to follow the expression of the genes. The idea is to attach the gene of the GFP just next to the gene you want follow: if in a given cell the gene that we want to follow is expressed, the GFP will be too. We can then identify it thanks to its fluorescence, with the help of a microscope.

(Explanations: David Louapre « Amazing science »)

In this research, researchers used several transgenic mice GnRH-GP to situate the neurons which make fluorescence. This way, they separate like the 29 neurons of GnRH (which have the KISS1R) and they are known to cause the ovulation. Researchers were able to measure their electric activity. The neurons activity of GnRH increases in the accordance with the concentration of C6 which confirm the possibility that the molecule takes place on the KISS1R present in the cellular membrane of the neuron of GnRH (Figure 4).

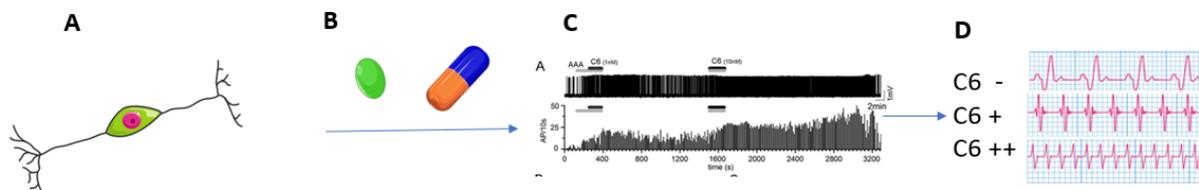


Figure 4: Schematic experimental measurements of the activity of GnRH neurons, known for their role in the triggering of ovulation, and carrying KISS1R. A: 29 neurons were isolated, and drugs have been added to prevent cross reactions. C: Thanks to measurement tools, researchers can quantify the electrical activity of a neuron. The higher the frequency, the more the neuron is active. D: Simplified representation of the results of experiments using C6: Activity of the nerve cell without C6, C6+/++ -> Activity of the nerve cell with a low or high C6 concentration.

The activity of GnRH neurons seems to be increased as a function of the concentration of C6, which supports the hypothesis that the molecule binds to the KISS1R present in the cell membrane of the GnRH neuron (Figure

4).

The principle of the key and lock tested

The mice KO/KISS1R are transgenic mice that don't have the KISS1R receptor. The

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.

principle is to verify that by injecting the C6 (new key), the concentration of LH will not increase. If it doesn't increase, it means there is not the adequate lock. Since the researchers removed only one lock (the KISS1R) it'll

prove that the C6 is specific to the Kiss1R. For this the researchers have injected some mice KO of the C6 then they measured the LH concentration.

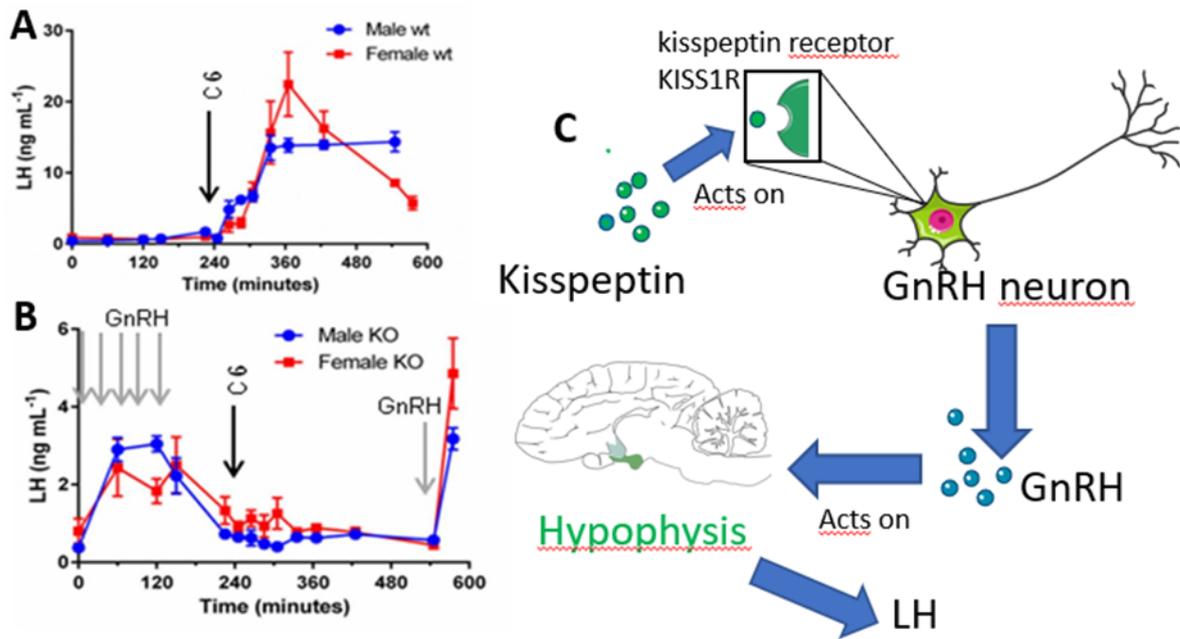


Figure 5: LH Dosing in control mice. B: LH dosing in KO-Kiss1R mice. We can observe that the injection of GnRH in the KO mice. The objective of the injection was to prove that the system works properly for KO mice. By injecting GnRH, we restore the LH production, proving that the missing Kiss1R in KO mice is concerned. C : Reminder of the action mechanism of Kp or C6 on the LH production (Decourt et al., 2016).

C6 increases the plasma concentration of LH in male and female mice but has no effects on the secretion of LH in Ko Kiss1R mice, this data shows the C6 is everything (Figure 5A and 5B).

VI Conclusion

C6 is a synthetic compound that looks like Kisspeptin (a natural molecule that triggers ovulation) but has the great advantage of resisting enzymatic degradation as well as degradation by elimination through the kidney.

C6 will interact with the Kiss1R receptor present in neurons at GnRH. Its neurons will then activate and produce GnRH.

When the C6 is injected in the muscle of the sheep, this one will go through the animal by blood circulation and trigger the neurons at GnRH. Then a series of interactions already known will trigger the ovulation.

The animal will become in heat. The sheep will in the case of fertility, will become pregnant. During the tests, all the sheep from this technique were in good health. The results of fertility were the same as normal cases.

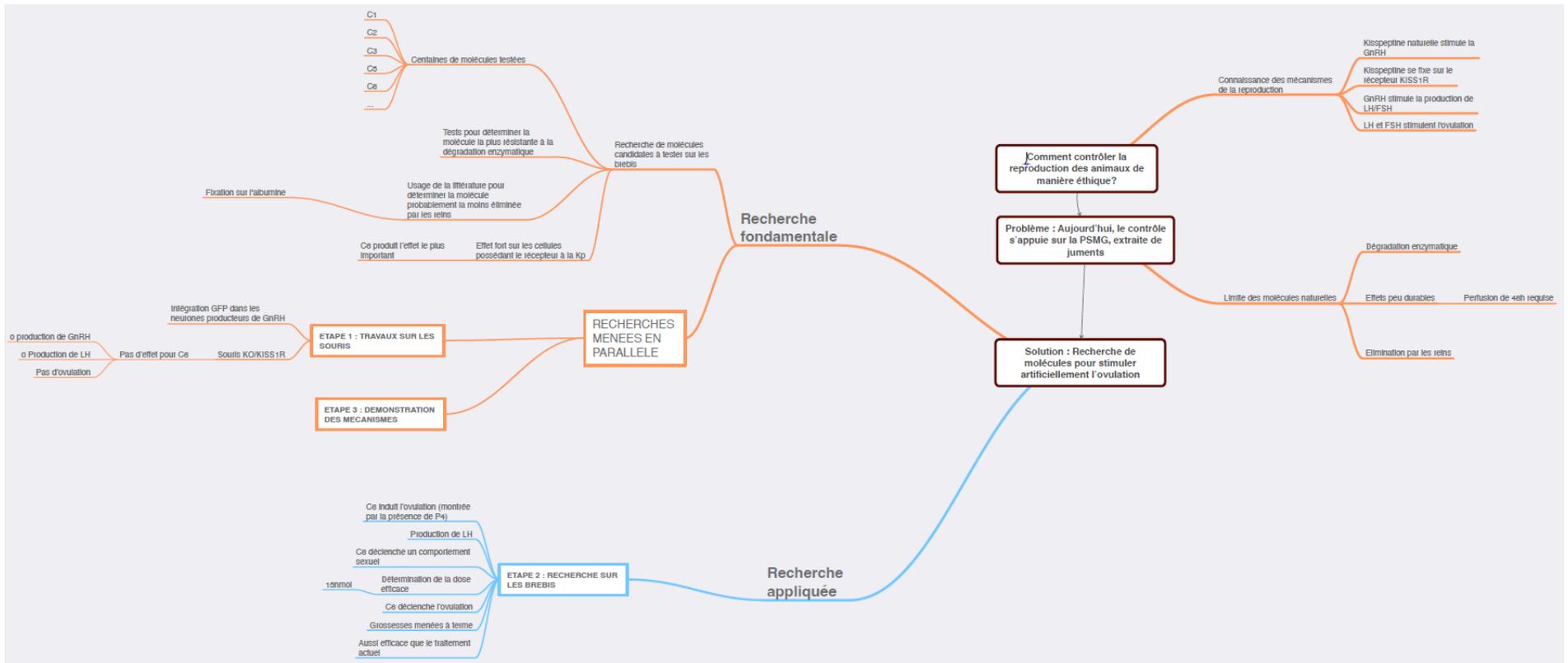


The C6 can become veterinary drugs and can be another choice instead of the other methods currently criticized.

However, the number of tested animals is not sufficient to pass this molecule into veterinary medicine. It would be necessary to try on a most consequent number and on other races of ewes. In addition, studies show that there may have other trails of treatments at the PMSG: Male effect, synthetic PMSG, etc.

C6 could also help in procreation of animals endangered with reproductive difficulties. In fact, the high stress of some animals in zoos reduces their fertility. The research team has set up collaborations with teams working on this subject, but this is another his...publication.







Références :

Decourt, C., Robert, V., Anger, K., Galibert, M., Madinier, J.-B., Liu, X., Dardente, H., Lomet, D., Delmas, A. F., Caraty, A., Herbison, A. E., Anderson, G. M., Aucagne, V., & Beltramo, M. (2016). A synthetic kisspeptin analog that triggers ovulation and advances puberty. *Scientific Reports*, 6, 26908. <https://doi.org/10.1038/srep26908>

Ont participé au travail d'écriture de cet article, en collaboration avec Vincent Robert, technicien de recherche en physiologie (par ordre alphabétique) : AYOUB S., BOUKROUNE Inès, CHAMPAGNE—CABLEY Maya, DECAMPS Léo, DELCAMPE Laurie-Anne, DELETTRE Louise, DENORME Vivien, FAY Marie-Pauline, GREUET Jade, GUYOT Léon, HARTL-HAZETTE Armand, LASSELIN Lou-Anne, LELENTA Barou, LEMAIRE Maxime, LESQUELIN Maxence, NAUDIN Laura, PAVIE-LEGRAND Léa, POREAUX Angeline, POUILLAIN Loona, PREIRA Maryam, PREVOST Hugo, SOLARI Charlotte, TAQUET Avrielle, THIEBAUT Quentin, THOMAS Charlotte, ZGODA Antoine.

Comment citer cet article : Vincent Robert et la 2nde 2 GT7 du lycée Pierre de la Ramée (St Quentin, FR), *C6: a small molecule that triggers ovulation*, Journal DECODER, 2023-07-01

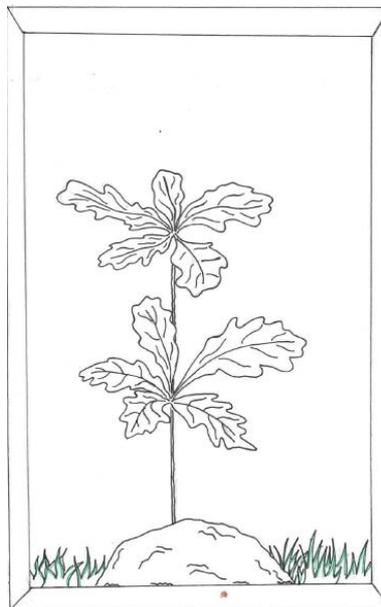


Interaction chêne/herbacées : la faim vient en mangeant

Antoine Vernay¹ (enseignant-chercheur) et la classe de 2nd 2 du lycée Pierre Brossolette de Mme Christine Louis² et Mr Benoit Le Hir² (*la liste des élèves est mentionnée en fin d'article*)

Article original/Original article: Vernay, Antoine, Philippe Malagoli, Marine Fernandez, Thomas Perot, Thierry Améglio, et Philippe Balandier. « Improved *Deschampsia cespitosa* growth by nitrogen fertilization jeopardizes *Quercus petraea* regeneration through intensification of competition ». *Basic and Applied Ecology* 31 (1 septembre 2018): 21-32. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2018.06.002>.

Institution : ¹Univ Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, ENTPE, UMR 5023 LEHNA, F-69622, Villeurbanne, France
²Lycée Pierre Brossolette, 1 Esplanade Agnès Varda, 69100 Villeurbanne



©Malaguen et Rieu

Résumé :

La régénération des chênaies est compliquée du fait de la présence d'herbacées comme la canche.

La disponibilité de plusieurs ressources est en jeu pour expliquer les échecs de régénération avec les herbacées mais peu d'étude ont pu quantifier et caractériser ces interactions en faisant varier plusieurs niveaux de ressource.

Lors de plusieurs expérimentations, les scientifiques ont fait varier plusieurs facteurs comme la lumière et l'azote. Ils ont donc planté de jeunes plants de chêne et de canche en les mettant en interaction ou non. Ces expériences ont permis ainsi de comprendre comment réagissaient les végétaux à différents niveaux de disponibilité de ressources et à la compétition.

L'étude montre que, selon le niveau de ressource de lumière et d'azote, les interactions entre

les deux plantes varient. Dès qu'il y a une ressource abondante, la plante est beaucoup plus en compétition que le chêne. C'est la double peine pour le chêne, celui-ci pourrait faciliter le développement de la canche en lui fournissant une source d'azote (rhizodépôt) et dans le même temps la canche réduit la croissance du chêne en captant la plupart de l'azote.

Mots clés : canche ; chêne ; compétition pour les ressources ; gestion forestière ; stratégie écologique

I Introduction

Plusieurs théories en écologie tentent d'expliquer les échanges entre les plantes pour les ressources. Certaines accaparent rapidement beaucoup de ressources et se développent rapidement, on parle de stratégie acquisitrice. D'autres ont tendance à recycler et stocker les ressources induisant une croissance plus lente, on parle de stratégie conservatrice. Ces comportements des plantes peuvent varier selon les conditions environnementales, c'est ce qu'on appelle la plasticité phénotypique (capacité d'un organisme à exprimer différents caractères pour un même génotype). Dans un même milieu, des plantes voisines consomment les mêmes ressources et peuvent donc entrer en compétition pour celles-ci, lorsque la présence d'une plante A induit une baisse de performance d'une plante B (en réduisant considérablement la disponibilité d'une ressource par exemple, diminuant la croissance de la plante B) mais la plante A peut aussi faciliter la croissance de la plante en B en créant de l'ombrage par exemple et diminuant l'évaporation de l'eau ce qui diminue le stress hydrique (manque d'eau pour la plante, qui se traduit par une plus faible croissance).

La capacité d'une plante à survivre dans un environnement dépend donc de la stratégie écologique des plantes voisines et des conditions environnementales qui impactent le comportement des plantes. On peut alors différencier l'intensité, l'effet de la présence

d'une plante sans tenir compte de l'environnement et l'importance des relations par rapport aux stress dues aux conditions environnementales (Brooker et al., 2005).

Tenir compte des stress multiples du milieu, des stratégies des plantes voisines, et de la capacité de la plante à modifier son comportement, rend plus compliqué mais aussi plus proche de la réalité notre compréhension du fonctionnement des plantes dans leur milieu que de ne considérer qu'un facteur pour expliquer les interactions. Cette difficulté augmente aussi en considérant la réponse des plantes selon plusieurs facteurs qui changent : il est plus facile de ne faire varier qu'un seul facteur, par exemple la lumière, pour expliquer le comportement des plantes mais dans la réalité, ce sont plusieurs facteurs qui varient de manière simultanée (lumière, eau, nutriments, température, ...).

Dans cette étude, les chercheurs ont choisi de faire varier deux facteurs, la lumière (L) et l'azote du sol (N) afin de comprendre leurs impacts sur les interactions entre des jeunes plants de chênes sessiles (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl., 1784) et de la canche cespiteuse (*Deschampsia cespitosa* (L.) P.Beauv., 1812). Ces deux espèces sont parmi les plus communes des chênaies tempérées françaises, le chêne sessile ayant une bonne résistance à la sécheresse, il devrait voir son aire de répartition augmenter du fait du dérèglement climatique (IGN, 2016). La canche est une Poacée qui induit beaucoup de mortalité chez les jeunes chênes du fait de leur stratégie très acquisitrice. Les hypothèses des

chercheur·se·s prévoient une atténuation de la compétition entre ces deux espèces dans les cas de faible disponibilité en lumière, du fait d'une moins bonne performance de croissance des canches. Nous pensons également que le chêne allouera plus de ressources aux racines dans les environnements avec peu de N et plus de ressources aux feuilles dans les cas de faible lumière (augmentation des performances des organes liés à l'acquisition des ressources limitantes), ce qui lui permettra de faire face à la stratégie d'appropriation de la canche à court terme.

II Matériels et méthodes

L'expérience a eu lieu dans une serre à Clermont-Ferrand entre décembre 2014 et juin 2015. 120 chênes d'un an ont été plantés dans des pots de 20L. Des plants de canche

(herbacé), découpés en thalles* (lexique en fin d'article) ont été récoltés dans une forêt de chêne de l'Allier puis replantés par nombre de trois (correspondant à la densité retrouvée en chênaie) dans 80 pots contenant des chênes. 40 pots ne contenaient alors qu'un chêne et 40 autres pots uniquement trois thalles de canche. Pour chacun des traitements de diversité, la moitié des pots a été mise sous ombrière, l'autre est restée sous la lumière de la serre. Pour les pots bispécifiques (chêne + canche, traitement « diversité »), 40 seront sous ombrière et 40 en pleine lumière. Dans chacune des conditions « diversité × lumière », la moitié des pots ont reçu une fertilisation (action de fertiliser le sol) en N en 3 fois, équivalente à la fin à 89kg.ha⁻¹. Les autres n'ont pas reçu de fertilisant (produits destinés à assurer ou à améliorer la nutrition des végétaux et les propriétés des sols.) (Figure 1).

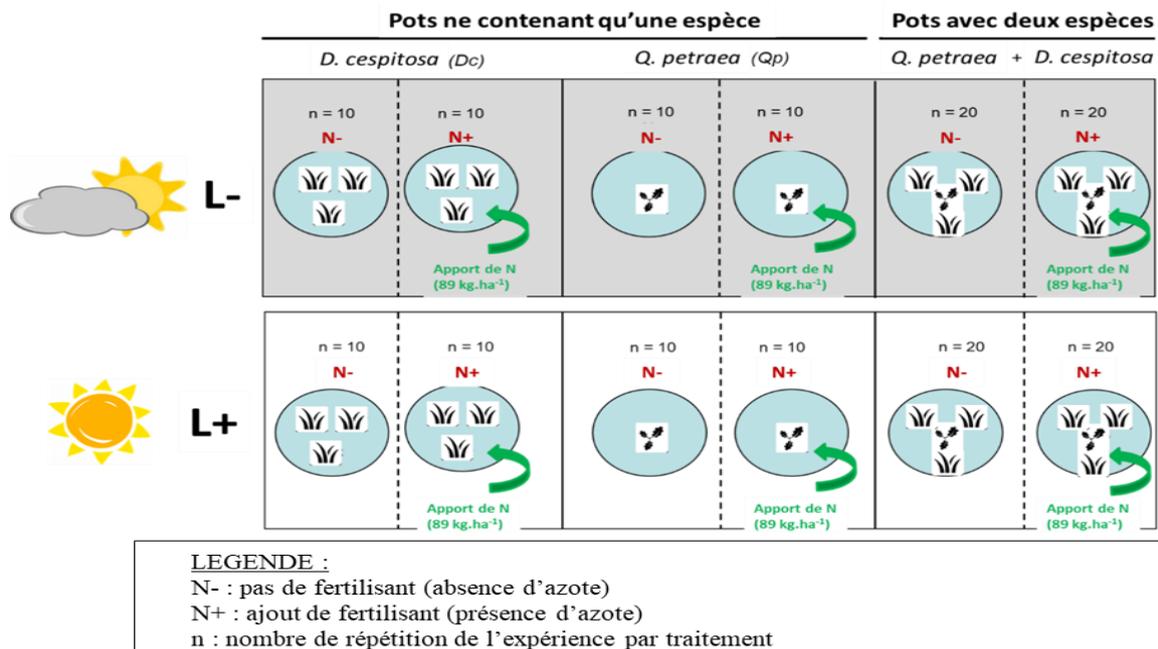


Figure 1 : Dispositif expérimental représentant les différents traitements « lumière » (L+ et L-), « azote » (N+ et N-) et compétition. n correspond au nombre de répétition par traitement (Vernay, 2017).

Des analyses d'azote du sol ont été réalisées en prélevant des échantillons de sol au début et à la fin de l'expérimentation afin d'évaluer la consommation d'azote par la plante. On souhaite également suivre le devenir de l'azote dans la plante. Pour cela il existe une méthode : la méthode isotopique.

Dans la nature, il existe deux isotopes* stables de l'azote : isotope ^{14}N est le plus courant et isotope ^{15}N (Tableau 1).

Tableau 1 explicatif de l'isotope :

	Nombre de protons	Nombres de neutrons
Azote 14	7	7
Azote 15	7	8

L'azote 15 est plus facile à identifier car il est plus lourd que l'azote 14.

Ainsi, on peut mesurer à l'aide d'un spectromètre de masse la quantité d'azote 15 absorbé par chaque organe de la plante.

On pourra donc déterminer où va l'azote une fois absorbé par les racines de la plante.

En juin 2015, les plantes ont été récoltées, lavées, et les différents organes séparés (feuille, tige, racines fines, grosses racines pour le chêne et parties aériennes et parties souterraines pour la canche). Ensuite les échantillons ont été séchés dans une étuve* à 60°C pendant au moins 48h afin d'évaluer la masse sèche* produite (Figure 2).



Figure 2 : Temporalité des différentes étapes de l'expérimentation

Enfin, les chercheurs se sont utilisés des indices basés sur les rapports de masses sèches des différents organes afin de quantifier les interactions.

La réponse des plantes dans un milieu correspond en effet aux conséquences des effets de l'environnement et des plantes voisines.

De fait, les chercheurs se sont calculé, l'intensité des interactions (I_{INT}), soit l'effet absolu de la présence d'une plante voisine sur la réponse d'une espèce cible, et l'importance de ces interactions (I_{IMP}), soit son effet sur la plante cible comparé aux effets dus aux conditions environnementales.

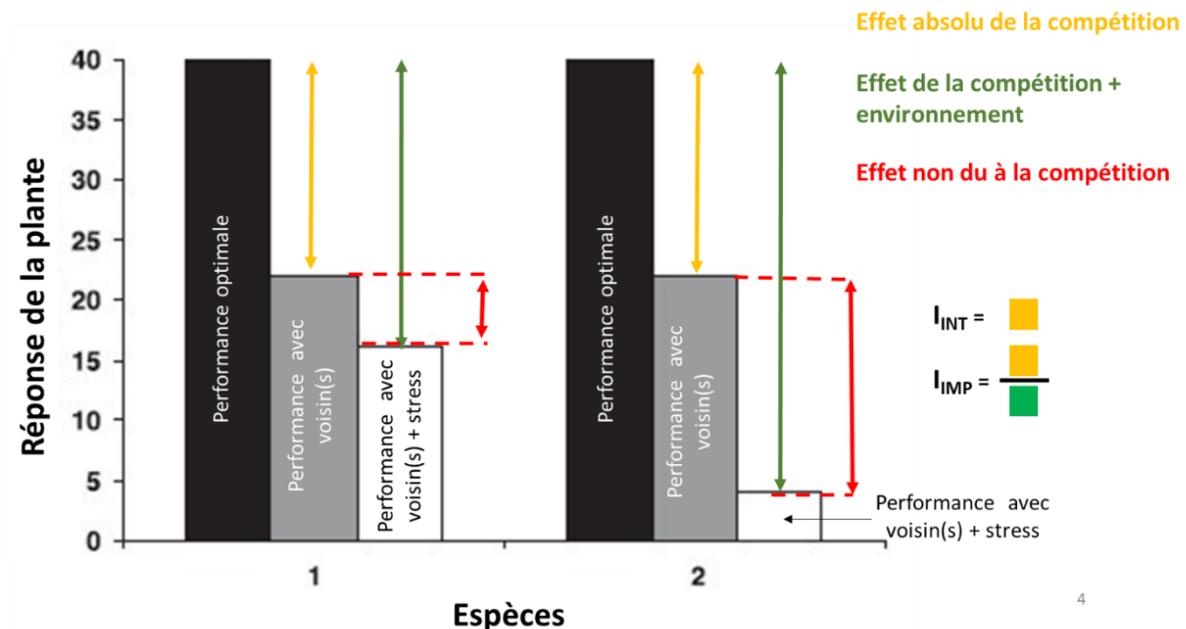


Figure 3 : Explication conceptuelle des indices d'intensité (I_{INT}) et d'importance (I_{IMP}) des interactions modifié de Brooker et al., 2005 et Vernay, 2017)

Si I_{INT} et I_{IMP} sont négatifs, il s'agit d'un effet négatif et donc de compétition d'une espèce sur l'espèce cible, s'ils sont positifs, il s'agit de facilitation.

Plus la valeur absolue* de ces indices est grande plus l'intensité de l'interaction est forte ou pour l'importance, plus l'effet de l'environnement est faible comparé à l'effet de la présence d'un voisin.

III Résultats

Les résultats montrent d'abord que la

biomasse*, notamment aérienne* des chênes sans voisin est plus forte lorsque la lumière et/ou l'azote sont abondants. C'est particulièrement vrai quand les deux sont non limitants. On remarque tout de suite que les plantes sont le moins performantes quand il y a un manque de fertilisant et de lumière et inversement sont le plus performantes quand il y a eu une fertilisation et de la lumière.

Cependant, on remarque que quel que soit l'environnement avec une ressource au moins abondante, le chêne sera moins performant en présence des plants de canches. La lumière

joue un rôle important mais la canche avec ou sans chêne montre toujours des performances au moins égales, si ce n'est plus en L+/N+.

Toutefois, dès que les chênes sont en présence de canche, les éléments, azote et lumière, qui lui sont bénéfiques lorsqu'il est seul (sans présence de canche), ne lui apportent aucun avantage. L'interaction azote \times diversité, lumière \times diversité ont donc un effet négatif fort sur la croissance des chênes (Figure 4). On n'observe pas ces différences dans le compartiment souterrain (données non figurées), les biomasses des racines (fines et grosses) ne sont pas statistiquement différentes malgré les différences de traitement.

A contrario, si l'on se concentre sur les données de biomasse aérienne de la canche,

que celle-ci soit en présence de chêne ou non, elle produit la même quantité de biomasse, à une exception près, en présence de grande disponibilité en azote et lumière. Dans cette condition N+/L+, la biomasse aérienne de la canche en présence d'un chêne est même supérieure à celle produite sans ce chêne. De plus, la lumière a un effet positif sur la poussée des racines de canche (données non figurées), la croissance des parties souterraines (racines) est facilitée lorsqu'il y a de la lumière et du fertilisant, elles se développent même encore plus facilement que dans d'autres scénarios.

Ces premiers résultats montrent que le chêne répond principalement à l'interaction des facteurs biotiques et abiotiques lors que la canche répond surtout aux facteurs abiotiques avec peu d'effet de la présence du chêne.

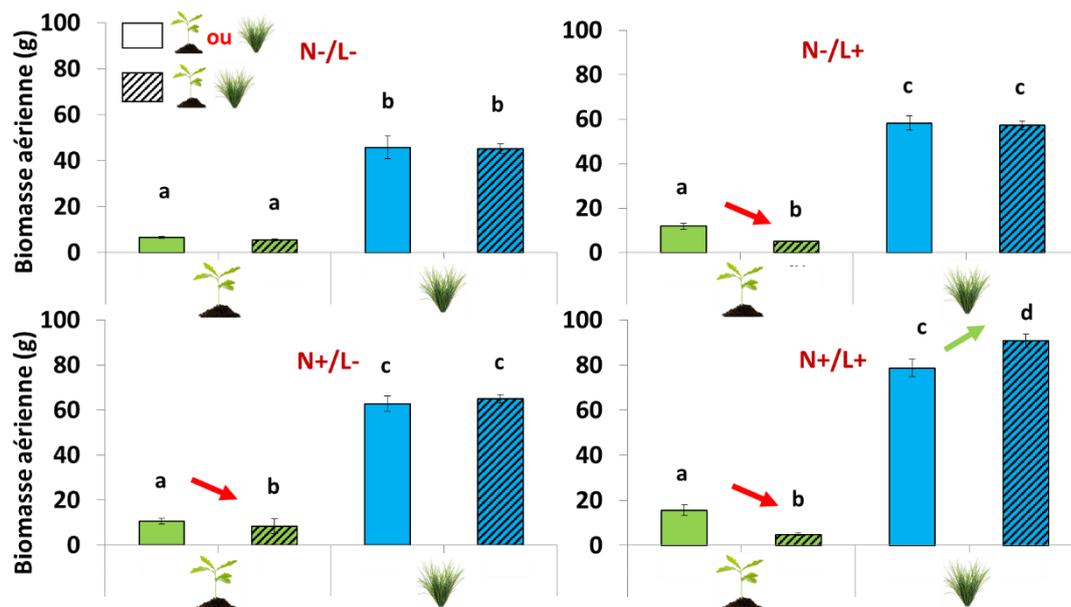


Figure 4 : Production de biomasse aérienne de la canche et du chêne à la fin de l'expérimentation dans les différentes conditions de traitement $N \times L$, en sans compétiteur ou en compétition intraspécifique (barres non hachurées) et en compétition bispécifique (barres hachurées). Les lettres affichées traduisent les différences statistiquement significatives, c'est-à-dire dont le risque que la différence observée soit due au hasard est inférieur à 5%

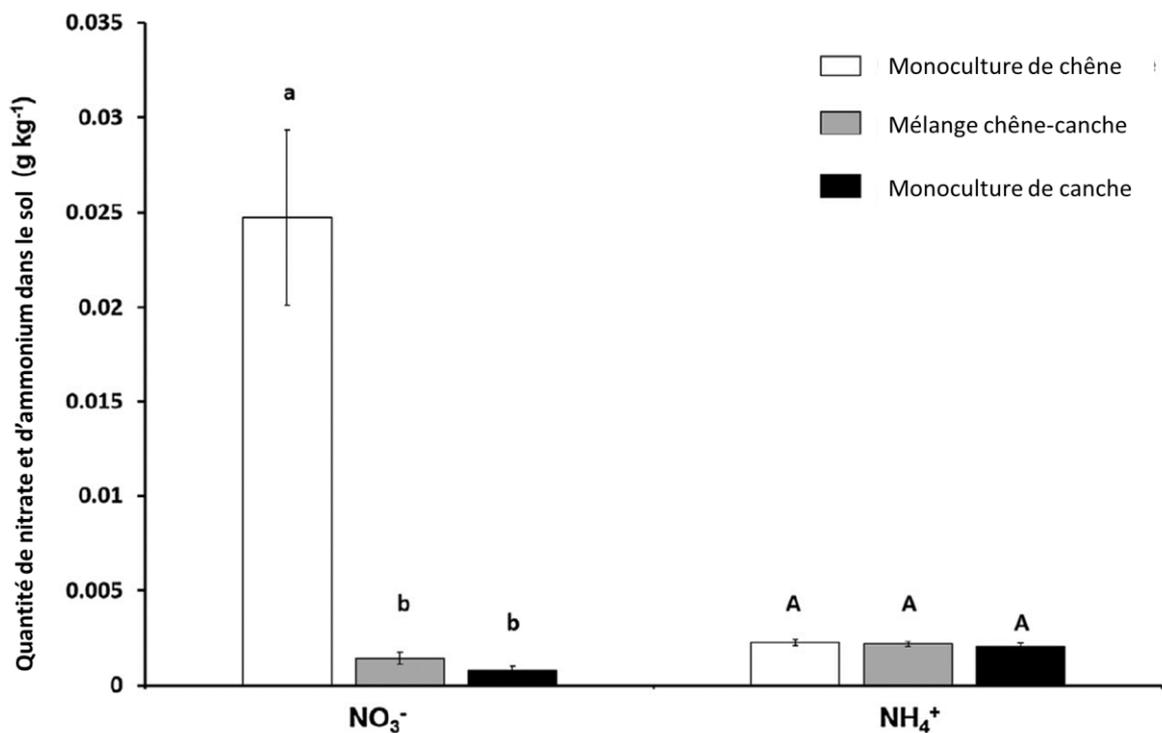


Figure 5 : quantité de nitrate (NO_3^-) et d'ammonium (NH_4^+) dans les pots selon leur composition. Les lettres affichées traduisent les différences statistiquement significatives, c'est-à-dire dont le risque que la différence observée soit due au hasard est inférieur à 5%. Les lettres minuscules correspondent à la comparaison liée aux nitrates, indépendamment de la comparaison faite relative à l'ammonium et représentée alors par des lettres majuscules.

Concernant l'utilisation de l'azote, la figure 5 montre la quantité de nitrate et d'ammonium contenue dans le sol selon des conditions de « diversité ».

Les résultats sont donc les suivants :

La terre des pots de chênes contient 0,025 g/kg de nitrate.

La terre des pots de mélange chêne et canche contiennent environ 0,002 g/kg de nitrate

La terre des pots de canche contient environ 0,001 g/kg de nitrate

La terre des pots de chênes contient beaucoup plus de nitrate que les autres terres des autres pots

La terre des pots de chêne contient environ 0,0025 g/kg d'ammonium

La terre des pots de mélange de chêne et de canche contient environ 0,0025 g/kg d'ammonium

La terre des pots de canche contient environ 0,0025 g/kg d'ammonium

La terre de tous les pots contient la même quantité d'ammonium.

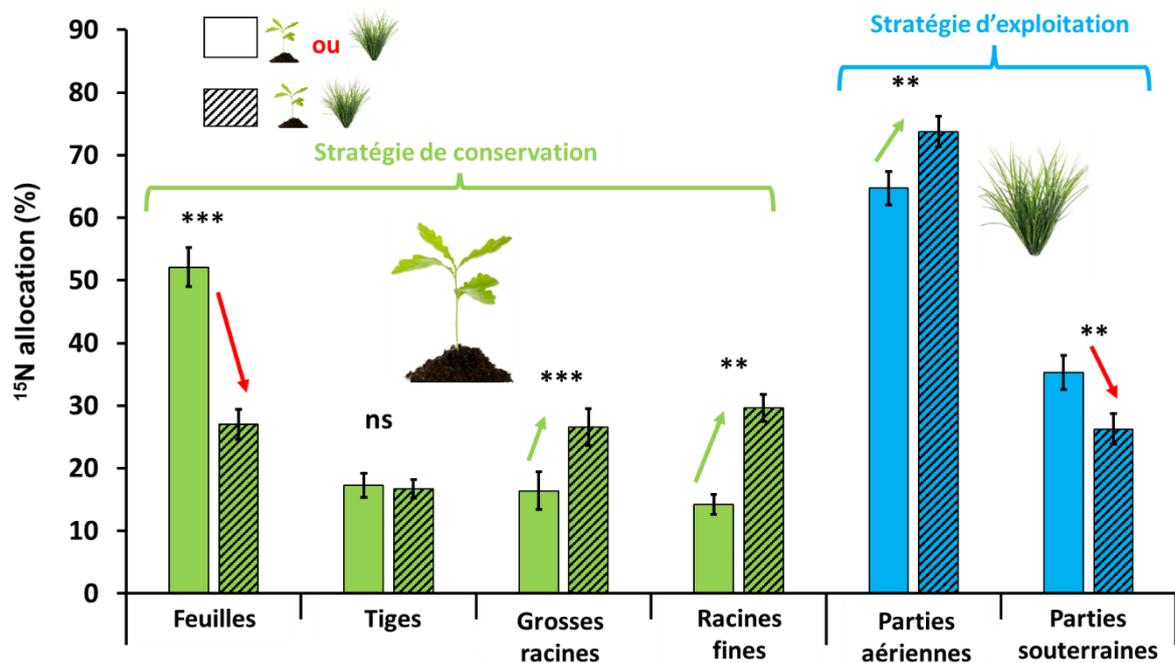


Figure 6 : Allocation du ^{15}N assimilé par la canche et le chêne à la fin de l'expérience dans les différentes conditions de traitement $N \times L$, en sans compétiteur ou en compétition intraspécifique (barres non hachurées) et en compétition hétérosécifique (barres hachurées). Les étoiles affichées traduisent les différences statistiquement significatives, c'est-à-dire dont le risque que la différence observée soit due au hasard est inférieur à 5% entre le traitement avec ou sans interaction hétérosécifique. Plus le nombre d'étoile est important moins le risque de se tromper dans l'interprétation de la différence est important. ns signifie non significatif.

La figure 6 parle de l'allocation en pourcentage d'azote dans les organes de la plante. Pour les feuilles, quand le chêne est tout seul, il y a plus d'azote que quand il y a la canche.

La comparaison des tiges de chêne avec ou sans canche n'est pas significative.

Pour les grosses racines, le chêne alloue plus d'azote quand il est en compagnie de la canche. Le résultat est quasiment semblable pour les racines fines.

Pour les parties aériennes, la canche y alloue plus d'azote quand elle est en compagnie du chêne

Pour les parties souterraines, c'est l'inverse, la canche alloue plus d'azote que

quand elle est en présence de chêne.

Il y a donc une forte compétition pour l'azote et c'est la canche qui en capture la grande majorité dans le sol. Donc la canche empêche le chêne de croître rapidement.

IV Discussion

L'un des premiers enseignements de cette expérimentation est que le surplus d'au moins une ressource (lumière ou azote) conduit à la baisse de performance du chêne lorsque celui-ci est en interaction avec la canche. Toutefois, la comparaison entre les performances du chêne à la lumière ou à l'ombre nous montrent un impact fort de la lumière sur la réaction des



chênes. Dans le cas où l'azote est aussi présent, l'effet négatif en présence de canche est accentué. L'explication pourrait alors venir d'une photosynthèse plus efficace pour la canche conduisant à une plus forte assimilation* de carbone. La croissance des racines est alors stimulée et également le prélèvement des ressources azotées du sol. Le caractère acquisateur de la canche se traduit par l'action de capter massivement de la ressource azotée, n'en laissant que très peu de disponible pour le chêne. La canche entre alors dans un « cercle vertueux » car l'azote est un composé essentiel de la Rubisco, une enzyme clé de la photosynthèse ; dans le même temps, le jeune chêne rentre alors dans un cercle vicieux, l'absence d'N pénalisant sa photosynthèse.

La seule condition où la canche n'a pas d'effet négatif sur le chêne correspond au traitement où N et la lumière sont limitants en même temps. Ceci est relativement connu, les espèces très acquitrices comme la canche sont souvent peu tolérantes aux conditions de stress, se développent moins et laissent donc plus d'espace et de ressources aux espèces plus tolérantes comme le chêne.

Une des découvertes de cet article correspond à la facilitation antagoniste* du chêne sur la canche en abondance de lumière et de N. Nous proposons deux hypothèses pour l'expliquer :

Les racines de chêne peuvent augmenter leur production de rhizodépôt, c'est-à-dire la libération de molécules, tissus dans le sol par leurs racines. Cela peut constituer une source d'azote en plus de celle du sol, rapidement captée par la canche.

Les plantes sont capables de « reconnaître » les autres espèces en captant les molécules émises dans les rhizodépôts (Semchenko et al., 2014). Si les chênes augmentent leurs rhizodépôts, ce signal

pourrait signaler leur présence à la canche et stimuler la croissance de la canche afin de la rendre plus compétitrice face à des individus d'une autre espèce potentiellement utilisatrice des mêmes ressources.

Ces hypothèses explicatives restent toutefois à démontrer dans un contexte semblable.

Cette stratégie permet d'exclure les espèces qui ont besoin de capter du N sans pour autant être efficace dans son assimilation (Tilman, 1982). La canche pourrait alors exclure le chêne, potentiel compétiteur car consommateur de la même ressource en étant plus efficace dans la consommation de N. La réponse du chêne se traduit plutôt dans la redistribution du peu de ressource captée vers des organes de réserves (comme les grosses racines) plutôt que vers des organes de croissance à court terme comme les feuilles. Ceci pourrait lui permettre de mobiliser ces réserves lorsque la pression de compétition sera plus faible (stratégie de conservation).

V Conclusion et perspectives :

De manière attendue, la canche est extrêmement compétitrice vis-à-vis du jeune chêne, notamment lorsqu'une ressource est non limitante. Plus inattendu, la facilitation antagoniste du chêne sur la canche confirme l'intérêt d'étudier les interactions entre plantes à l'aune de combinaison de facteurs plutôt qu'en se focalisant sur une seule ressource. Les réponses observées seront alors plus proches des conditions naturelles et traduisent la complexité des interactions à considérer, par exemple en contexte de gestion forestière. En effet, nous ne recommandons pas l'utilisation de fertilisant lors de la plantation de chêne en forêt, celle-ci pourrait être contre-productive et favoriser encore plus la canche que les chênes plantés. Il pourrait être plus judicieux de faire





constituer des réserves aux chênes en pépinière au préalable (mais cela peut ne pas marcher, Vernay et al., 2018) et d'accompagner cela d'une réduction de la densité de canche, en réduisant la disponibilité en lumière. Cela peut se faire en ne coupant

que certains arbres adultes, les autres maintenant un certain niveau d'ombrage.

D'autres ressources comme le phosphate, l'eau pourraient aussi être considérées dans de prochaines études pour compléter cette analyse des interactions entre chêne et canche.

LEXIQUE :

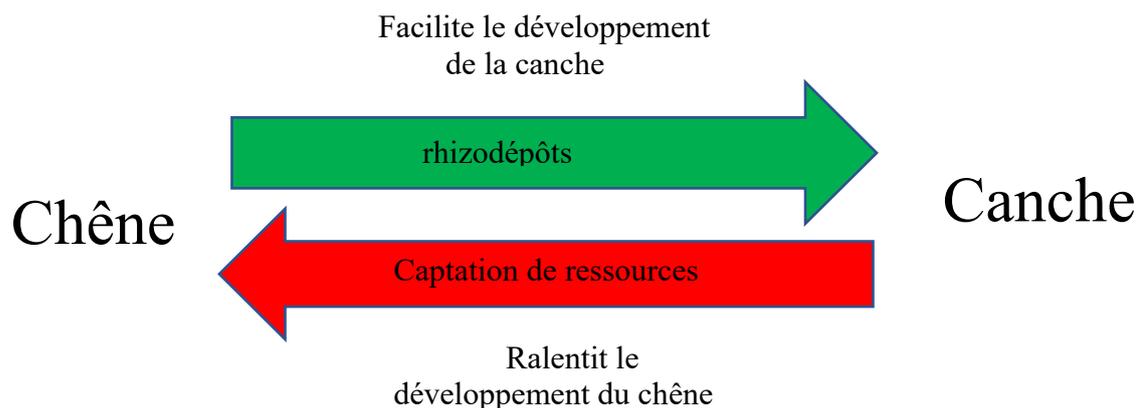
***Assimilation** : Transformer, convertir en sa propre substance.

***Biomasse** : masse de matière vivante subsistant en équilibre sur une surface donnée du globe terrestre

***Biomasse aérienne** : toute biomasse vivante au-dessus du sol, y compris les tiges, les souches, les branches, l'écorce, les graines et le feuillage

***Étuve** : Appareil clos et ventilé dont on élève la température afin de sécher les tissus disposés à l'intérieur

***Facilitation antagoniste**



***Isotopes** : nucléides partageant le même nombre de protons, mais ayant un nombre de neutrons différent.

***Masse sèche** : Biomasse des tissus après extraction de l'eau grâce à l'étuve.

***Thalles** : pousse aérienne issue de la reproduction végétative des poacées.

***Valeur absolue** : La valeur absolue d'un nombre **permet de considérer ce nombre sans tenir compte de son signe**. Autrement dit, si un nombre x est positif, alors la valeur absolue de x est x , mais si x est négatif, alors la valeur absolue de x est son opposé, soit $-x$.

Références :

Brooker, R., Kikvidze, Z., Pugnaire, F. I., Callaway, R. M., Choler, P., Lortie, C. J., & Michalet, R.

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.



(2005). The importance of importance. *Oikos*, 109(1), 63-70.

Semchenko, M., Saar, S., & Lepik, A. (2014). Plant root exudates mediate neighbour recognition and trigger complex behavioural changes. *New Phytologist*, 204(3), 631-637. <https://doi.org/10.1111/nph.12930>

Tilman, D. (1982). *Resource competition and community structure*. Princeton university press.

Vernay, A. (2017). *De la complexité fonctionnelle et écophysiological des ressources lumière, azote et eau dans le réseau précoce d'interactions entre le jeune chêne (Quercus petraea) et deux Poacées (D. cespitosa et M. caerulea) : Conséquences pour la régénération des chênaies tempérées* (AV.tp-00475). Université Clermont Auvergne.

Vernay, A., Malagoli, P., Fernandez, M., Perot, T., Améglio, T., & Balandier, P. (2018). Carry-over benefit of high internal N pool on growth and function of oak seedlings (*Quercus petraea*) competing with *Deschampsia cespitosa*. *Forest Ecology and Management*, 419–420, 130-138. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.03.039>

Ont participé au travail d'écriture de cet article, en collaboration avec Antoine Vernay, chercheur en écologie (par ordre alphabétique) : AIDARA Malick ; BARRIER Lisa ; BEN AYED Maelys ; CHARNOUBI Hafssa ; COLOMBAT Enola ; CORDEIRO-SALIBA Malo ; CROUZOULON Samuel ; CROZET-PONSARD Tony ; DORE Otis ; DUGELAY Camille ; GARCÊS MORGADO Adriana ; GAUVIN Maélia ; GOTTO Keicy ; GRIDEL Swan ; GUENIN ROUBEY Thibault ; LAMBERT Noemie ; LYONNAIS DIOCHON Lisa ; M'MADI Abdourehmane ; MALAGOUEN Mellina ; MALZIEU Djena ; MANE Jordan ; MANGA Merveille ; MEHDI Ahmed ; MOUNIB Meyssane ; MOUSTAÏD Mohamed-Achraf ; OUBRIER Elise ; RIEU Clémence ; SANCHEZ Victoria ; SCHMITT Elea ; SHAK Rayan ; YAHIAOUI Ibrahim ; ZARIOH Marwann ; ZIDANE Lina



©C. Louis avec l'autorisation de d'utilisation de l'image

Comment citer cet article : Antoine Vernay et la 2nde 2 du lycée Pierre Brossolette (Villeurbanne, FR), *Interaction chêne/herbacées : la faim vient en mangeant*, Journal DECODER, 2023-06-31

Évènements extrêmes observés et changement climatique

Anne Sophie Daloz¹ (chercheuse) et Balthazar Sellier¹ (stagiaire) et la classe de 3^{ème} E du collège Olympe de Gouges de Mme Laetitia Legrand² (*la liste des élèves est mentionnée en fin d'article*)

Article original/Original article:

Institution : ¹ CICERO, Center for International Climate Research, Norvège
² Collège Olympe de Gouges, 250 chemin du château, 33140 Cadaujac, France



Résumé :

Ces dernières années, les évènements météorologiques extrêmes ont fait parler d'eux de plus en plus dans la société. Preuve en est, en Gironde, les épisodes de canicule, de sécheresse et leurs conséquences : feux de forêt à répétition se sont succédés l'été dernier (2022).

Cet article se propose de revenir sur les dernières études et l'état des connaissances actuelles sur les évènements météorologiques extrêmes observés dans un contexte de changement climatique global. Nous allons nous intéresser aux évènements extrêmes, par définition rares, et voir comment quantifier la durée, la fréquence et l'intensité de certains d'entre eux, en particulier ceux relatifs aux températures, aux précipitations ou encore aux cyclones tropicaux.

Mots clés : changement climatique ; cyclone tropical ; extrême ; précipitations ; température

I Introduction

En 2022, l'augmentation de la température moyenne globale s'élevait désormais à +1.15°C par rapport à la moyenne préindustrielle (1850-1900)¹. Cette élévation

de température peut sans aucun doute être reliée aux émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique.

Mais qu'est-ce qu'un effet de serre d'origine anthropique ?

Comme vous le savez peut-être si la

¹ [Aggravation des impacts du changement climatique dans le contexte des huit années les plus chaudes](#)

[jamais enregistrées | Organisation météorologique mondiale \(wmo.int\)](#)

température terrestre est en moyenne d'environ + 15°C, c'est grâce à cet effet de serre naturel que nous bénéficions de températures permettant la vie sur Terre. L'atmosphère contient des gaz qui retiennent une partie du rayonnement infrarouge. Le climat clémente de la Terre est dû à un équilibre entre l'énergie reçue par le soleil, qu'elle absorbe et celle qu'elle renvoie....

Les activités humaines depuis le début de la révolution industrielle en 1850 ont rejeté énormément de gaz effet de serre, dont le dioxyde de carbone ou CO₂. Ce sont ces gaz qui sont responsables de cet effet de serre additionnel...qu'on nomme effet de serre anthropique (Figure 1).

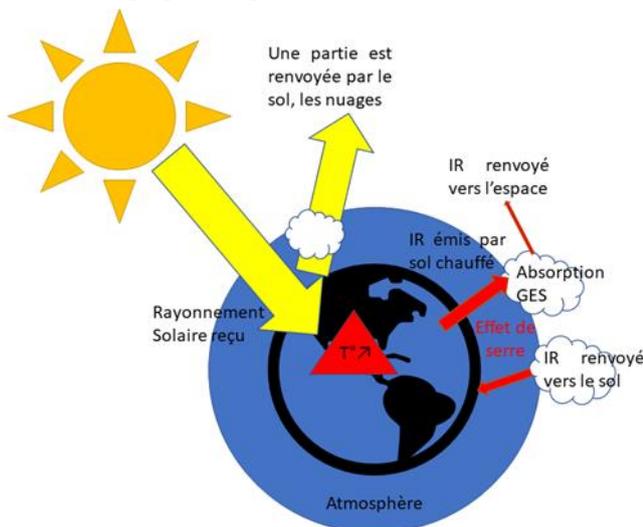


Figure 1 : principe de l'effet de serre (© les auteurs).

Alors une température clémente qui permet la vie, c'est bien mais cette hausse due aux activités humaines, quant à elle, augmente la

température moyenne de la Terre et a un impact sur certains événements météorologiques ou climatiques dits extrêmes comme nous allons vous le montrer.

La météo et le climat diffèrent en termes d'échelle spatiale mais aussi temporelle. En effet, le climat correspond à la moyenne des conditions observées sur une vaste zone sur une période d'environ 30 ans, tandis que la météo correspond aux phénomènes ponctuels et plus localisés.

Il y a ainsi plusieurs façons de définir les événements extrêmes qu'il soit météorologique ou climatique. Selon le GIEC, le groupe intergouvernemental d'étude du climat, un événement météorologique extrême est défini comme « *an event that is rare at a particular space and time* », nous retrouvons la notion de localisation spatiale et temporelle dont nous parlions précédemment. Quant à un événement climatique extrême, il est défini comme « *a pattern of extreme weather that persists for some time such as a season* », nous sommes donc sur une temporalité plus longue, une persistance, une récurrence (IPCC, 2021).

Ce qui reste difficile à appréhender est la probabilité de survenue de ces événements. D'un point de vue statistique, l'augmentation de la température moyenne globale a une influence sur les extrêmes en température. Même si statistiquement, ce sont des événements rares, on observera une tendance à la hausse de la fréquence de ces événements avec des températures potentiellement plus élevées. C'est ce qu'illustre la figure suivante (Figure 2).

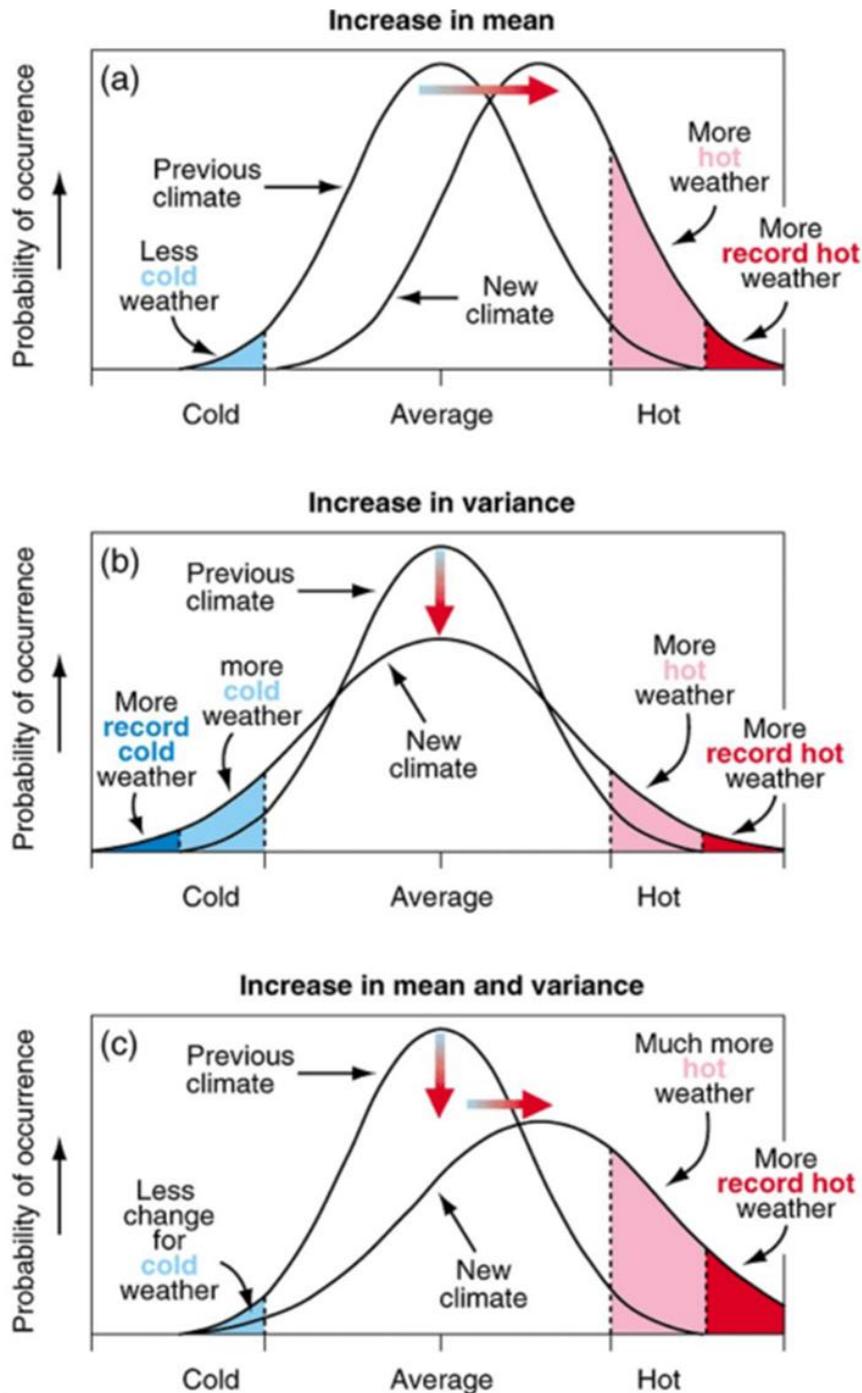


Figure 2 Schéma montrant l'effet sur les températures extrêmes lorsque (a) la température moyenne augmente, (b) la variance augmente et (c) la moyenne et la variance augmentent pour une distribution normale de température. Source : (GIEC, 2001).

Dans la suite de cet article, nous ne distinguerons plus les deux cas et parlerons

simplement d'événements extrêmes. Pourquoi s'intéresser à ces événements extrêmes ? En raison notamment de leur



impact sur la société, comme nous pourrions le constater. Les conséquences et répercussions sur la société peuvent être importants.

Dans ce contexte, rappelons que définir le risque climatique, ce n'est pas seulement regarder la probabilité de survenue d'un aléa (cyclone, canicule...), mais c'est aussi prendre en compte cette probabilité au regard de l'exposition d'une population et de sa vulnérabilité. Face au même souffle du loup, la maison des 3 petits cochons en brique a mieux résisté ! Mieux comprendre le risque climatique, permet de mieux anticiper et travailler en amont sur les réponses possibles, par exemple en termes d'adaptation.

II Evènements extrêmes en température

Parallèlement à l'augmentation de la température moyenne globale, la fréquence des températures extrêmes a aussi augmenté. De plus, sur une période qui s'étend sur les 40 dernières années, il est possible de constater d'une part une augmentation des températures maximales mais aussi une augmentation des températures minimales. C'est donc globalement l'ensemble de l'intervalle de températures extrêmes qui est impacté.

Si on regarde au niveau mondial, plus précisément c'est au niveau de l'Amérique du Sud, de l'Europe et de l'Asie que les augmentations sont les plus larges et significatives pour les températures maximales. Quant aux températures minimales, ce sont sur le continent américain, le nord de l'Eurasie ou encore le plateau tibétain qu'elles présentent les plus grandes hausses significatives.

Certaines études montrent même que les températures extrêmes augmentent encore plus rapidement sur la surface terrestre que la moyenne globale (e.g. Seneviratne et al., 2016). Comment expliquer cette tendance ?

Plusieurs facteurs entrent en jeu. D'une

part, les continents se réchauffent plus vite que les océans. En effet, l'océan présente une plus grande inertie thermique, c'est-à-dire qu'il est plus lent à se réchauffer en raison par exemple de la forte épaisseur d'eau.

Le taux d'humidité, les nuages, l'albédo ont également un rôle. Par exemple, l'albédo qui correspond au pouvoir de rayonnement d'une surface augmente quand la surface est plus sombre. Ainsi, lorsque la neige fond, il y a plus d'énergie absorbée que renvoyée. Lorsque l'on coupe les arbres avec la déforestation également. Ces phénomènes amplifient le mécanisme de l'effet de serre et du réchauffement climatique : c'est ce qu'on appelle une rétroaction ! Un peu comme un effet domino qui amplifie le problème initial.

Il est aussi important de comprendre que le climat est un ensemble qui présente des disparités régionales, c'est-à-dire des variations qui sont propres à certaines régions. On parle de variabilité naturelle du climat. En dehors de toute cause, de tout phénomène extérieur modificateur, il existe quand même des variations à l'échelle locale, un peu comme un système qui essaie de s'équilibrer en permanence. Localement, on peut donc même observer des évènements qui semblent aller à l'encontre du réchauffement climatique global, par exemple des vagues de grand froid. Ce sont ces exemples régionaux qui peuvent être mal interprétés, servant souvent aux climato-sceptiques pour nier l'existence d'un réchauffement global, alors que ces évènements ne sont pas incompatibles avec le réchauffement de la planète.

L'augmentation des températures extrêmes a des impacts importants sur la société. En effet, l'augmentation des températures est dangereuse pour la santé, amplifie le risque de maladies et de décès et ceux d'autant plus que le taux d'humidité augmente en parallèle. Une chaleur « sèche » est plus supportable pour l'organisme qu'une chaleur avec un fort taux





d'humidité. Un des indicateurs souvent utilisés pour mesurer ce type d'évènements est l'humidex. Au-delà d'un certain seuil, il y a danger de mort ! Elle impacte également le fonctionnement de la société en rendant plus difficiles les conditions d'exercice de certains métiers pénibles, notamment ceux s'exerçant en plein air. Elle a pu conduire à la fermeture des écoles, certains jours, lors de la canicule observée en juin 2022 en France.

Ce qui est fondamental à prendre en compte, c'est également le nombre de jours où s'observent ces températures extrêmes. Un événement isolé est gênant mais impacte peu le fonctionnement de la société et n'entraîne pas d'effets aussi néfastes sur la santé. Les vagues de chaleur, en revanche, en se multipliant vont amplifier ces impacts. Il n'existe pas de définition universelle de la vague de chaleur : cela peut varier selon les régions du monde et le climat propre à chaque pays. En France, on parle de vague de chaleur dès lors qu'une valeur quotidienne de la température au niveau national atteint ou dépasse 25,3°C et qu'elle reste élevée pendant au moins 3 jours. Le terme canicule correspond à une période plus longue et surtout implique aussi une hausse des températures nocturnes.

Voyons quels sont les processus qui participent à la création de vagues de chaleur en Europe. Ils sont multiples. Cela peut être dû à des zones de blocages atmosphériques qui font qu'un anticyclone (zone de haute pression) se positionne aux latitudes moyennes et ne bouge pas parfois pendant plusieurs semaines. Elles forment ainsi à ces latitudes une zone de blocage aux potentielles perturbations qui viennent normalement de l'Atlantique. En plus des vagues de chaleur, on peut avoir en parallèle des sécheresses qui peuvent amplifier les hausses de température. Les sécheresses en diminuant l'humidité du sol entraîne un réchauffement plus important.

C'est ce qui a été observé lors de la canicule en 2003 en Europe et en Russie en 2010. De plus, ces phénomènes ont tendance à s'amplifier mutuellement. On retrouve notre idée de domino, la sécheresse amplifie la chaleur qui elle-même amplifie à son tour la sécheresse et le mécanisme peut s'emballer comme cela a été observé aux États-Unis et en Inde en 2022 (Mazdiyasnî & AghaKouchak, 2015; Sharma & Mujumdar, 2017).

III Evènements extrêmes en précipitation

Les mécanismes qui sont à l'origine des précipitations extrêmes sont très complexes, plus que ceux régissant les températures extrêmes. Cela entraîne des variations plus importantes que pour les températures extrêmes, les écarts régionaux observés peuvent être plus importants.

Mais des précipitations extrêmes, c'est quoi en fait ? Première différence importante par rapport aux températures, on ne peut pas avoir de valeurs négatives. Cependant, comme les vagues de chaleur, les précipitations peuvent être extrêmes dans leur intensité, leur fréquence et leur durée. Pour étudier ces précipitations, on regarde la quantité d'eau qui tombe sur une période donnée, sur une zone donnée et on la compare à des valeurs références.

Même si les données sont moins nombreuses que pour les températures, on constate néanmoins que les précipitations extrêmes montrent une tendance à l'augmentation pour beaucoup de régions. On observe également que cette tendance est bien marquée pour l'hiver : 2/3 des stations d'enregistrement établissent ce fait, au niveau mondial (Westra et al., 2013).

Lorsque ces précipitations extrêmes tombent sur certaines régions, elles risquent d'entraîner des inondations. Soit en raison de leur intensité, soit de leur fréquence, soit en





raison de leur durée. Parfois, les trois facteurs se combinent même !

Il est possible de distinguer différents types d'inondations. Par exemple, les inondations éclair qui sont la conséquence de précipitations intenses sur une courte durée. Dans la région bordelaise, la tempête Justine en février 2021 et les fortes précipitations associées, ont conduit à de nombreuses inondations dans la ville même de Bordeaux et les communes alentours. Régulièrement en cas de fortes précipitations, la Garonne déborde ! A Bordeaux, avoir les pieds dans l'eau, on connaît ça !

Il existe aussi des inondations dues aux événements extrêmes, déclenchées par de forts cyclones par exemple, où de fortes précipitations tombent en l'espace de quelques heures.

Dans le cas des inondations fluviales, comme à Bordeaux, il existe des moyens d'atténuation. Ceux-ci visent à mettre en place des dispositifs permettant d'atténuer les conséquences. Ces inondations fluviales sont également extrêmement liées aux caractéristiques du milieu (humidité du sol, période de l'année, nature de l'apport...).

Si on s'intéresse maintenant aux précipitations extrêmes mais au sens faible du terme, c'est-à-dire en termes de sécheresse, les choses sont un peu plus compliquées à définir. En effet, en soi un jour sans pluie ne peut être considéré comme un événement extrême. Il y a des jours où il ne pleut pas, depuis toujours sans que cela ne soit anormal ou inquiétant. En revanche, là où le problème se pose et la notion événement extrême apparaît, c'est quand de longues périodes sans précipitations se produisent et ceux d'autant plus qu'elles peuvent être couplées à des températures élevées et peuvent alors conduire à un épisode de sécheresse.

Là encore, le milieu, la région ont une influence sur le déclenchement d'un éventuel

épisode de sécheresse. Une région où les sols présentent un fort taux d'humidité résistera mieux qu'une région où les sols sont déjà secs. Ainsi, dans certaines zones, les précipitations faibles conduisent à une sécheresse en l'espace de quelques semaines tandis que dans d'autres, cela prendra plusieurs mois, voire des années...

Comme c'est le cas pour les inondations, il existe différents types de sécheresse (agricoles, écologiques et hydrologiques, nommées selon les secteurs qu'elles affectent). Les sécheresses résultent d'une combinaison de facteurs complexes (précipitations, températures, vent, qualité et gestion des sols...) qui les rendent difficiles à définir et à modéliser pour le futur.

Ainsi dans certaines régions du monde, comme le sud de l'Europe ou l'ouest de l'Afrique, on observe une tendance à l'augmentation des sécheresses. Dans le même temps, ces épisodes semblent diminuer dans le centre de l'Amérique du Nord ou certaines régions de l'Australie (Seneviratne et al., 2012).

Pour autant, une certitude existe. Les activités humaines, via le changement climatique, ont sans conteste un impact sur la fréquence et l'intensité des sécheresses, ainsi que l'aridité des sols.

Pour autant, il ne faut pas oublier qu'en raison du rapport signal/bruit assez faible dans les modèles climatiques, la prévision reste de l'ordre d'un faisceau des possibles. Mais un événement à probabilité faible peut tout de même générer un fort impact, comme lorsqu'une canicule se superpose à une sécheresse persistante durant l'été 2022.

Un rapport signal/bruit assez faible, dans les modèles climatiques, mais qu'est-ce donc, me direz-vous ? Le système climatique est quelque chose d'assez complexe, qui possède une dynamique interne. Cette variabilité interne peut parfois amplifier un événement





assez infime au départ. Cette variabilité interne correspond au « bruit » si on s'intéresse à un endroit donné. Parfois, ce bruit s'il est très fort peut perturber ce qu'on appelle le « signal » qui est la réponse à un endroit donné du système climatique aux perturbations humaines. Cela peut rendre le modèle difficile à interpréter.

Un des axes de recherche des climatologues, actuellement, est justement d'étudier la probabilité de survenue de ces événements extrêmes, en prenant en compte cette variabilité interne. Cela permet de générer l'ensemble des états futurs possibles et d'estimer leur occurrence, leur probabilité de survenue.

C'est notamment, ce qu'on fait, Schaller et al. (2016), qui ont fourni la première étude d'attribution d'une inondation. L'attribution consiste à quantifier la part des actions humaines par rapport aux forçages naturels (activité solaire, les émissions des volcans, ...), dans la réponse climatique tout en tenant compte de cette fameuse variabilité interne !

En s'appuyant sur de nombreuses simulations de modèles climatiques des inondations hivernales de 2013/2014 dans le sud de l'Angleterre, ils ont pu montrer que l'influence humaine rendait l'augmentation des précipitations tombant dans la région beaucoup plus probable. Ils ont ensuite utilisé un modèle hydrologique et ont également trouvé une augmentation significative de la probabilité de débits de pointe élevés dans le bassin versant de la Tamise en raison de l'influence humaine, bien que l'augmentation soit moins forte que pour les précipitations.

Pour terminer, leur étude, ils ont regardé le nombre de lieux qui pourraient être impactés par les inondations en comparant avec et sans les perturbations humaines. Sur ce dernier point, rien de significatif ne ressort. Cela montre que même si les modèles sont capables de montrer sans équivoque l'influence

humaine sur l'augmentation des extrêmes en termes de précipitations, il reste difficile de quantifier réellement l'impact réel sur nos sociétés. En particulier lorsque les impacts ont été atténués (par exemple avec des défenses contre les inondations) ou amplifiés (par exemple en utilisant l'eau pour l'agriculture pendant une période de faibles précipitations) par l'Homme. Ainsi, quelqu'un vivant proche d'une digue pourrait prétendre que les extrêmes n'augmentent pas, qu'il n'est pas plus inondé qu'avant et ce jusqu'au jour où la digue cédera ou sera insuffisante face à l'augmentation des extrêmes !

IV Les cyclones tropicaux

Qu'est-ce qu'un cyclone tropical ? Nous pourrions le définir comme une vaste tempête accompagnée de fortes précipitations. Les cyclones, ouragans et typhons désignent un phénomène, décrit par Météo France comme "un phénomène tourbillonnaire des régions tropicales, accompagnés de vents dont la vitesse est supérieure ou égale à 64 nœuds, c'est-à-dire 117 kilomètres heure". Les régions concernées se trouvent entre le 30^{ème} parallèle nord et le 30^{ème} parallèle sud : ainsi le cyclone est-il réservé à l'océan Indien et au Pacifique sud, tandis que l'on parle d'ouragan en Atlantique nord et dans le Pacifique nord-est. Enfin, le typhon ne peut avoir lieu que dans le Pacifique nord-ouest. La nomenclature dépend donc de l'endroit du globe où le phénomène a lieu.

Pour qu'un cyclone tropical se développe, la température de l'océan doit être élevée dans les premiers mètres (environ 60) pour permettre une évaporation intense et des transferts d'humidité de l'océan vers l'atmosphère.

Ce transfert est à son maximum à la fin de l'été lorsque les eaux de surface atteignent 28 à 29 °C. Cette condition thermique est





indispensable à la naissance et au développement du phénomène.

Ainsi, il ne se forme généralement pas de cyclones tropicaux en Atlantique sud ou dans le Pacifique sud-est, en partie car c'est une zone où les eaux sont relativement froides. Pour la même raison, les cyclones tropicaux s'affaiblissent rapidement en pénétrant à l'intérieur des terres, où ils ne sont plus alimentés en eau chaude.

Jusqu'en 2010 et le développement d'un ensemble de données appelé International Best Track Archive for Climate Stewardship (IBTrACS, Knapp et al., 2010), aucun enregistrement mondial des cyclones tropicaux n'existait. Plusieurs centres météorologiques géraient les différentes régions du monde utilisant chacun leur propre nom et classification.

L'échelle de Saffir-Simpson a par exemple été développée pour les ouragans aux Etats-Unis. Ils y sont classés en 5 catégories, selon la force des vents maximums. C'est dans l'Atlantique Nord que les données sont les plus importantes avec un recensement existant depuis 1851.

Attention, cependant, tout est relatif, les données satellites n'existent que depuis les années 80 et par conséquent de nombreuses tempêtes n'ont pas été recensées sur de plusieurs régions avant les années 80. C'est pourquoi, on peut estimer que les données ne sont véritablement fiables que depuis 30 à 40 ans. De plus, comme le nombre de cyclones tropicaux par an est relativement limité, on estime que l'échantillon de données est assez faible d'un point de vue statistique.

Cela est d'autant plus vrai pour les extrêmes car les cyclones tropicaux les plus forts sont aussi les moins nombreux, donc on ne dispose que d'assez peu de statistiques les concernant !

Dans l'Atlantique Nord, quelques exemples bien connus de tels événements sont

l'ouragan Katrina, qui a frappé la Nouvelle-Orléans en 2005 ou l'ouragan Harvey qui a touché terre à Houston en 2017. Les deux ouragans ont provoqué des inondations catastrophiques et de nombreux décès. Ces événements correspondent aux catastrophes naturelles parmi les plus coûteuses sur le plan humain comme économique en raison de leurs vents destructeurs, de leurs fortes pluies et des inondations catastrophiques qu'ils provoquent souvent.

Même si des progrès importants ont été réalisés quant à la compréhension de la formation de ces phénomènes extrêmes ces dernières années, il reste encore à affiner les études, ce qui est rendu difficile par le manque relatif de données.

Malgré tout la recherche avance ! Et notamment sur la question du lien entre ces événements, leurs caractéristiques et le changement climatique (Knutson et al., 2019; Knutson et al., 2010; Walsh et al., 2016).

Une des questions qui se pose, en effet, est de savoir, si l'augmentation de la température moyenne des océans a une influence sur les cyclones tropicaux, et par conséquent de savoir également si l'influence de l'activité humaine est détectable dans les observations (T. Knutson et al., 2019). Comme la formation de ceux-ci est liée à la température de l'eau, on pourrait le supposer. Une température plus chaude pourrait amener davantage de cyclones.

En raison des limites liées aux données historiques, les séries chronologiques d'observation des cyclones tropicaux montrent beaucoup moins de preuves d'augmentations à long terme que l'augmentation de la température moyenne mondiale (par exemple, Bindoff et al., 2013).

Comme nous l'avons vu dans les paragraphes précédents pour les extrêmes en température et en précipitations, il est peut-





être difficile de démêler l'effet de la variabilité naturelle des changements liés au réchauffement climatique.

Même si on ne détecte pas de changement significatif dans le nombre total de cyclones tropicaux à l'échelle globale, la proportion des cyclones tropicaux de catégorie intense semble augmenter (Elsner et al., 2008; Kossin et al., 2013). Cependant, attribuer ces changements au réchauffement climatique est difficile.

Du point de vue des précipitations cycloniques, bien qu'une teneur en humidité atmosphérique plus élevée ait été détectée dans de nombreuses régions (Roderick et al., 2019), aucune étude observationnelle ne montre une augmentation des précipitations liées aux cyclones tropicaux à l'échelle mondiale.

Ce qui est observé, en revanche aux moyennes et hautes latitudes, est un décalage vers les pôles des trajectoires des cyclones tropicaux pour certaines régions (Kossin et al., 2014). Ce décalage serait partiellement lié à la migration de la zone de formation des cyclones tropicaux (Daloz & Camargo, 2018). De même, il semblerait que les ouragans se déplacent plus lentement aujourd'hui (Kossin, 2018) et pénètrent plus loin dans les terres que les ouragans d'il y a 50 ans. Ainsi, en mars 2023, le cyclone Freddy a parcouru plus de 10 000 km d'est en ouest dans l'océan Indien en 36 jours, devenant le plus long cyclone tropical jamais observé par les météorologues. Mais encore une fois, ces tendances n'ont pas pu être liées à l'influence du changement climatique.

En s'appuyant sur nombreuses simulations de modèles climatiques similaires à celles dont nous parlions pour les inondations hivernales de 2013/2014 dans le sud de l'Angleterre, les scientifiques ont cherché si un lien avec les activités humaines et le changement climatique était décelable. Les

résultats ont révélé que le changement climatique a en partie contribué aux précipitations extrêmes des cyclones tropicaux Katrina, Irma et Maria (Patricola & Wehner, 2018). D'autres études récentes ont également montré que le changement climatique a probablement augmenté la probabilité d'occurrence d'événements uniques tels que l'ouragan Harvey qui a touché terre au Texas en 2017 (Risser & Wehner, 2017), l'ouragan Katrina à la Nouvelle-Orléans en 2005 (Irish et al., 2014), et l'ouragan Maria à Porto Rico en 2017 (Keellings & Hernández Ayala, 2019). D'autres futures études sur le cyclone tropical Freddy montreront peut-être un lien avec ses particularités et le changement climatique global ?

V Conclusion

Bien que différents, les événements extrêmes liés à la température, aux précipitations ou encore les cyclones tropicaux intenses, n'en présentent, pas moins, des caractéristiques communes. D'une part, ils sont rares au sens statistique du terme. D'autre part, ils sont synonymes d'impacts souvent importants et graves pour la société. Même si une analyse et un suivi historique sont difficiles à mener compte tenu de la relative rareté des données disponibles aussi bien dans le temps que dans l'espace, il faut néanmoins souligner que les études récentes tendent à montrer un réel impact du changement climatique sur les extrêmes.

En ce qui concerne les extrêmes de température, les données sont plus nombreuses et des zones importantes étudiées. Une tendance à la hausse, notamment en termes de fréquence et d'intensité, des extrêmes en température est observable, dans de nombreuses régions, ce qui peut, dans une large mesure, être attribué au changement





climatique d'origine humaine.

Pour les précipitations extrêmes et la sécheresse, la distribution spatiale n'est pas aussi évidente, la variabilité étant plus importante. Cependant, il semble se dégager une tendance à la hausse, les stations où les données montrant une augmentation des précipitations extrêmes étant supérieures à celles montrant une tendance à la diminution.

Pour les cyclones tropicaux, aucune tendance claire n'a été observée en termes de précipitations associées à l'échelle mondiale. Cependant, il semble que leur nombre soit stable, voire en légère baisse mais dans le même temps, on observe, tout de même une accentuation des cyclones les plus intenses.

Ce dont il faut bien être conscient c'est que le changement climatique est une évidence. En 2022, la température moyenne globale avait déjà augmenté de plus de 1.15°C par rapport à la période préindustrielle et cette augmentation se poursuit actuellement. Celle-ci conduira à un impact significatif sur les événements extrêmes au-delà de la variabilité interne propre au système climatique, cela ne

fait plus de doute.

Les engagements pris par les Etats en 2015 (COP 21, Paris), révisés en 2021 (COP 26 Glasgow) permettraient de stabiliser voire de légèrement diminuer les émissions de GES avant 2030².

Il reste néanmoins un décalage entre ces promesses et les politiques publiques réellement mises en place. De même, il existe un fossé entre une stagnation des émissions mondiales (qui conduirait à un réchauffement de +2°C d'ici 2050 et +3,2°C en fin de siècle) et la très forte baisse à engager rapidement pour atteindre la cible des 1,5°C voire 2°C...

Rien ne sera possible sans une très forte atténuation des émissions de gaz à effet de serre. De plus, compte tenu de l'inertie du système climatique, les répercussions se feront tout de même sentir et il faut également travailler sur des adaptations au changement climatique, aux événements extrêmes en parallèle de cette atténuation des émissions. Notre capacité à en prendre conscience et à réagir constitue là aussi une incertitude !

Références :

Bindoff, N. L., Stott, P. A., AchutaRao, K. M., Allen, M. R., Gillett, N., Gutzler, D., Hansingo, K., Hegerl, G., Hu, Y., Jain, S., Mokhov, I. I., Overland, J., Perlwitz, J., Sebbari, R., & Zhang, X. (2013). *Detection and attribution of climate change : From global to regional*. Cambridge University Press. http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_Chapter10_FINAL.pdf

Daloz, A. S., & Camargo, S. J. (2018). Is the poleward migration of tropical cyclone maximum intensity associated with a poleward migration of tropical cyclone genesis? *Climate Dynamics*, 50(1), 705-715. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3636-7>

Elsner, J. B., Kossin, J. P., & Jagger, T. H. (2008). The increasing intensity of the strongest tropical cyclones. *Nature*, 455(7209), Article 7209. <https://doi.org/10.1038/nature07234>

IPCC. (2021). *Climate Change 2021 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (N° 6th). Cambridge

² <https://www.iddri.org/fr/publications-et-evenements/billet-de-blog/de-paris-glasgow-comment-la-cop-26-peut-elle-accelerer-la>





University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

Irish, J. L., Sleath, A., Cialone, M. A., Knutson, T. R., & Jensen, R. E. (2014). Simulations of Hurricane Katrina (2005) under sea level and climate conditions for 1900. *Climatic Change*, 122(4), 635-649. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-1011-1>

Keellings, D., & Hernández Ayala, J. J. (2019). Extreme Rainfall Associated With Hurricane Maria Over Puerto Rico and Its Connections to Climate Variability and Change. *Geophysical Research Letters*, 46(5), 2964-2973. <https://doi.org/10.1029/2019GL082077>

Knapp, K. R., Kruk, M. C., Levinson, D. H., Diamond, H. J., & Neumann, C. J. (2010). The International Best Track Archive for Climate Stewardship (IBTrACS) : Unifying Tropical Cyclone Data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91(3), 363-376. <https://doi.org/10.1175/2009BAMS2755.1>

Knutson, T., Camargo, S. J., Chan, J. C., Emanuel, K., Ho, C.-H., Kossin, J., Mohapatra, M., Satoh, M., Sugi, M., & Walsh, K. (2019). Tropical cyclones and climate change assessment : Part I: Detection and attribution. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 100(10), 1987-2007.

Knutson, T. R., McBride, J. L., Chan, J., Emanuel, K., Holland, G., Landsea, C., Held, I., Kossin, J. P., Srivastava, A. K., & Sugi, M. (2010). Tropical cyclones and climate change. *Nature Geoscience*, 3(3), Article 3. <https://doi.org/10.1038/ngeo779>

Kossin, J. P. (2018). A global slowdown of tropical-cyclone translation speed. *Nature*, 558(7708), Article 7708. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0158-3>

Kossin, J. P., Emanuel, K. A., & Vecchi, G. A. (2014). The poleward migration of the location of tropical cyclone maximum intensity. *Nature*, 509(7500), Article 7500. <https://doi.org/10.1038/nature13278>

Kossin, J. P., Olander, T. L., & Knapp, K. R. (2013). Trend Analysis with a New Global Record of Tropical Cyclone Intensity. *Journal of Climate*, 26(24), 9960-9976. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00262.1>

Mazdiyasni, O., & AghaKouchak, A. (2015). Substantial increase in concurrent droughts and heatwaves in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(37), 11484-11489. <https://doi.org/10.1073/pnas.1422945112>

Patricola, C. M., & Wehner, M. F. (2018). Anthropogenic influences on major tropical cyclone events. *Nature*, 563(7731), Article 7731. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0673-2>

Risser, M. D., & Wehner, M. F. (2017). Attributable Human-Induced Changes in the Likelihood and Magnitude of the Observed Extreme Precipitation during Hurricane Harvey. *Geophysical Research Letters*, 44(24), 12,457-12,464. <https://doi.org/10.1002/2017GL075888>

Roderick, T. P., Wasko, C., & Sharma, A. (2019). Atmospheric Moisture Measurements Explain Increases in Tropical Rainfall Extremes. *Geophysical Research Letters*, 46(3), 1375-1382. <https://doi.org/10.1029/2018GL080833>





Schaller, N., Kay, A. L., Lamb, R., Massey, N. R., van Oldenborgh, G. J., Otto, F. E. L., Sparrow, S. N., Vautard, R., Yiou, P., Ashpole, I., Bowery, A., Crooks, S. M., Haustein, K., Huntingford, C., Ingram, W. J., Jones, R. G., Legg, T., Miller, J., Skeggs, J., ... Allen, M. R. (2016). Human influence on climate in the 2014 southern England winter floods and their impacts. *Nature Climate Change*, 6(6), Article 6. <https://doi.org/10.1038/nclimate2927>

Seneviratne, S. I., Donat, M. G., Pitman, A. J., Knutti, R., & Wilby, R. L. (2016). Allowable CO2 emissions based on regional and impact-related climate targets. *Nature*, 529(7587), Article 7587. <https://doi.org/10.1038/nature16542>

Seneviratne, S. I., Nicholls, N., Easterling, D., Goodess, C. M., Kanae, S., Kossin, J., Luo, Y., Marengo, J., McInnes, K., Rahimi, M., Reichstein, M., Sorteberg, A., Vera, C., Zhang, X., Rusticucci, M., Semenov, V., Alexander, L. V., Allen, S., Benito, G., ... Zwiers, F. W. (2012). Changes in Climate Extremes and their Impacts on the Natural Physical Environment. In C. B. Field, Q. Dahe, T. F. Stocker, & V. Barros (Éds.), *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 109-230). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245.006>

Sharma, S., & Mujumdar, P. (2017). Increasing frequency and spatial extent of concurrent meteorological droughts and heatwaves in India. *Scientific Reports*, 7(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15896-3>

Walsh, K. J. E., McBride, J. L., Klotzbach, P. J., Balachandran, S., Camargo, S. J., Holland, G., Knutson, T. R., Kossin, J. P., Lee, T., Sobel, A., & Sugi, M. (2016). Tropical cyclones and climate change. *WIREs Climate Change*, 7(1), 65-89. <https://doi.org/10.1002/wcc.371>

Westra, S., Alexander, L. V., & Zwiers, F. W. (2013). Global Increasing Trends in Annual Maximum Daily Precipitation. *Journal of Climate*, 26(11), 3904-3918. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00502.1>

Ont participé au travail d'écriture de cet article, en collaboration avec Anne-Sophie Daloz et Balthazar Sellier, chercheur·se en climatologie (par ordre alphabétique) : ALVES Stella ; ASTILLEROS Marc ; AUBRILLOT-SARRAZIN Arnaud ; BERNET Alycia; CORRIOU Lison ; DELOUBES Laury ; DELPECH Manon ; DRIS Lyna; DUMARTIN Elaia; GLAUNEZ Alexandre; KHOSTEGYAN Maria; MERLIN Sava ; TARDIEU Ludivine ; VIMES Baptiste.

Comment citer cet article : Anne Sophie Daloz, Balthazar Sellier et la 3^{ème} E du collège Olympe de Gouges (Cadaujac, FR), *Évènements extrêmes observés et changement climatique*, Journal DECODER, 2023-07-12



Effet allélopathique d'une espèce native sur une plante exotique envahissante majeure en Europe

Florence Piola¹ (enseignante-chercheuse) et la classe de 2nd GT de l'Institution Sévigné de Mme Joséphine Villain Sawadogo² (*la liste des élèves est mentionnée en fin d'article*)

Article original/Original article: Christina, Mathias, Soraya Rouifed, Sara Puijalon, Félix Vallier, Guillaume Meiffren, Florian Bellvert, et Florence Piola. « Allelopathic Effect of a Native Species on a Major Plant Invader in Europe ». *The Science of Nature* 102, n° 3 (5 mars 2015): 12. <https://doi.org/10.1007/s00114-015-1263-x>.

Institution : ¹Université Claude Bernard Lyon 1, LEHNA UMR 5023, CNRS, ENTPE, F-69622, Villeurbanne, France
²Institution Sévigné Compiègne, 20 rue de la Sous-Préfecture, 60200 Compiègne



©

Résumé :

Cet article a été écrit par 9 élèves de l'Institution Sévigné de Compiègne avec leur professeur de SVT à partir d'une étude menée par l'équipe du Docteur Piola et avec sa collaboration. Ils se sont intéressés à l'article portant sur l'effet allélopathique d'une espèce native *Sambucus ebulus* sur une plante exotique envahissante majeure en Europe *Fallopia x bohemica* faisant partie des Renouées asiatiques. Grâce à cette réécriture, les élèves ont pu apprendre comment l'effet allélopathique d'une plante native pouvait influencer une plante exotique envahissante.

Mots clés : allélopathie ; plante exotique envahissante ; plante native ; *Fallopia x bohemica*

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

De nombreuses plantes exotiques envahissantes ne sont pas dominantes dans leur habitat naturel mais peuvent le devenir en étant introduites dans un nouvel environnement (Ridenour & Callaway, 2001). La compétition directe entre les plantes exotiques envahissantes et **natives**¹ est un processus par lequel les espèces envahissantes peuvent remplacer les espèces natives. Ceci entraîne une modification des communautés représentant parfois une menace pour la biodiversité. Parmi les interactions directes, la compétition pour les ressources (utilisation de n'importe quelle ressource par un organisme qui en réduit la disponibilité pour un autre organisme) est souvent considérée comme le principal facteur limitant pour la colonisation par une espèce. Cependant, d'autres formes de compétition directe, comme l'**allélopathie**, peuvent également avoir un impact significatif (Michalet et al., 2006).

L'allélopathie est définie comme un processus d'interaction chimique plante-plante ou plante-micro-organisme. Elle a des effets positifs ou négatifs, et est aussi activement impliquée dans le succès des invasions. Diverses études ont conduit à l'hypothèse que les plantes qui ont co-évolué avec une espèce allélopathique peuvent être moins sensibles aux composés avec lesquels elles ont évolué tandis que les espèces nouvellement exposées vont présenter une moindre résistance face à la nouvelle espèce introduite produisant ces composés allélopathiques jusqu'alors inconnus. Le succès des espèces exotiques envahissantes va donc être plus important face aux plantes natives.

Toutefois, cette théorie a pour corollaire que les espèces exotiques envahissantes qui

n'ont pas co-évolué avec les espèces natives pourraient être sensibles aux composés toxiques produits par ces dernières. Leurs composés allélopathiques pourraient affecter la croissance des espèces exotiques et constituerait une nouvelle méthode naturelle de contrôle. Mais, les effets allélopathiques des plantes natives sur les espèces exotiques ont rarement été étudiés. *Fallopia x bohemica* est une des espèces les plus envahissantes en Europe. Elle a la capacité de se disperser en utilisant deux types de **propagules**, les akènes (dispersion sexuée) et les **rhizomes** (dispersion végétative) ce qui la rend très difficile à contrôler. Il a récemment été démontré que *Sambucus ebulus* (Sureau hièble) pouvait limiter la colonisation et le développement des deux types de propagules de *F. x bohemica*. Cet effet pourrait s'expliquer par un effet allélopathique direct, par un accès limité à la lumière ou par une compétition pour les ressources. En effet, la plante *S. ebulus* est capable de coloniser le même lieu d'habitation (par exemple les bords de route ou les berges de rivière) que *F. x bohemica*. Nous pouvons supposer que les propagules sexuées et les propagules végétatives comme les fragments de rhizome sont impliquées dans la colonisation et la propagation pendant l'invasion.

Dans ce travail, il a été émis comme hypothèse que l'espèce native *S. ebulus* a un effet allélopathique sur l'espèce exotique envahissante *F. x bohemica*, limitant la croissance de celle-ci. Cette hypothèse a été testée avec des akènes et des fragments de rhizomes en utilisant un plan expérimental consistant à arroser les pots cibles de *F. x bohemica* avec les lessivats des pots donneurs de *S. ebulus*. L'effet des lessivats de *S. ebulus* sur les traits de croissance de *Fallopia* (hauteur, nombre de

¹ Les éléments indiqués en gras sont définis dans le lexique en fin d'article



feuilles, masse sèche souterraine et masse sèche aérienne) a été mesuré.

II Matériels et méthodes

1 Echantillonnage

Date	Espèce	Mode de stockage et de nettoyage de culture	Lieu
13/12/2010	Rhizomes de <i>S. ebulus</i> collectés	4°C Laver afin d'enlever la terre	Chambéon (France, Pays de la Loire)
Janvier/ Février 2011	Rhizomes de <i>F x bohemica</i> collectés (2  échantillons de la même plante)	Cultiver à 20°C dans une serre dans des conditions identiques	Feyssine à Lyon => population 1 Veauchette (département de la Loire) -> population 2
Janvier 2009	Akène de <i>F. x bohemica</i> 		Le long de la rivière Dorlay à Lorette (France)

2 Plan expérimental

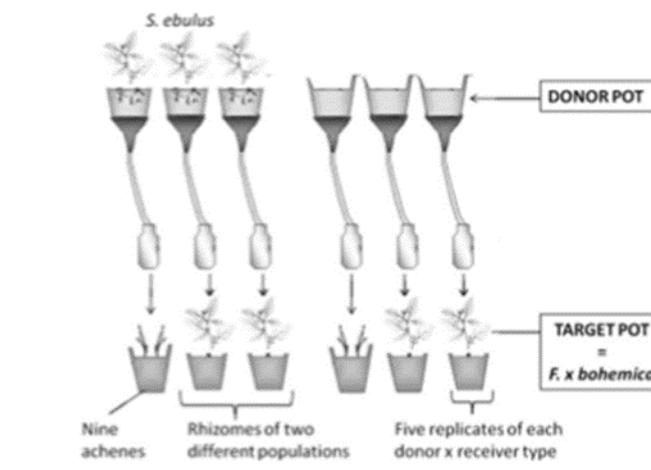


Figure 1 : Conception expérimentale de l'expérience du pot. Deux types de pots donneurs (terreau, témoin et *S. ebulus* dans du terreau) sous lesquels ont été placés trois types de pots cibles contenant du terreau planté avec des akènes de *F x bohemica*, ou des fragments de rhizome provenant des populations 1 ou 2, pour un total de six traitements avec cinq réplicats chacun (30 pots cibles).



Figure 2 : photographie d'une partie du dispositif expérimental (©F.Piola)

Le plan expérimental (Figure 1 et 2) a été adapté en utilisant des pots donneurs (pots contenant ou pas des plants de *S. ebulus*) et des pots cibles (avec ou sans akènes/rhizomes de *Fallopia*) pour séparer la compétition pour les ressources et l'allélopathie. Des pots de 1 L remplis de terreau Klasmann ont été utilisés. Le terreau permet de tester si une plante a un effet chimique direct sur une autre indépendamment des effets liés à la communauté microbienne, probablement peu représentée dans ce type de substrat.

Les pots donneurs ont été placés sur des entonnoirs en plastique de 15 cm de diamètre et ont été placés sur des étagères à 30 cm au-dessus des pots cibles. Un flacon de 120 mL a été placé sous chaque entonnoir pour recueillir les lessivats qui sont des solutions formées par le mouvement ou la percolation d'un liquide à travers un sol ou des déchets solides et la dissolution dans l'eau de certains constituants des milieux traversés. Trente pots ont été assignés au hasard aux contrôles (15 pots sans plantes) ou au traitement (15 pots contenant des rhizomes de *S. ebulus*). Les fragments de rhizomes ont été sélectionnés avec un nœud et une biomasse d'environ $5g \pm 0,1 g$.

Les rhizomes de *S. ebulus* avaient été plantés 2 mois avant le début de l'expérience afin d'obtenir un développement aérien de chaque rhizome. Des pots donneurs témoins (juste du sol) ont également été préparés et arrosés pendant ces 2 mois avant le début de l'expérience. Au début de l'expérience, les 30 pots donneurs ont été saturés d'eau et ensuite arrosés tous les 2 ou 3 jours, respectivement, pour obtenir 100 ml de lessivat.

Trente pots cibles contenaient des propagules de *F. x bohemica* : 10 avec des akènes (9 akènes par pot), 10 avec des fragments de rhizome de la population 1 et 10 avec des fragments de rhizome de la population 2 (1 fragment par pot). Les fragments de rhizome ont été sélectionnés avec un nœud et une biomasse de $1,5g \pm 0,1 g$. Ces pots ont été régulièrement arrosés avec les lessivats des pots donneurs récoltés par gravité (pour chaque ensemble de 10 pots cibles, 5 ont été arrosés avec des lessivats de pots donneurs témoins et 5 avec les pots donneurs contenant des plantes de *S. ebulus*). Les pots cibles ont été déplacés aléatoirement chaque semaine au sein d'un même traitement (témoin ou *S. ebulus*) afin d'éviter

un éventuel effet de localisation. L'expérience a duré 50 jours.

3 Résumé du protocole sous forme de tirets :

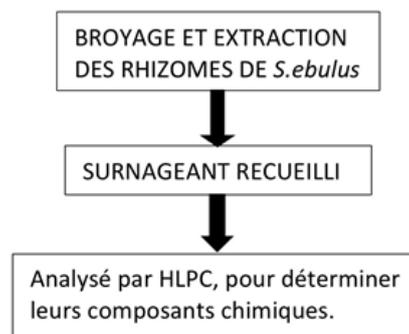
- Utilisation pots donneurs et cibles, terreau Klasmann.
- Pots donneurs > entonnoirs 15 cm sur étagères 30 cm au-dessus pots cibles. + Flacon 120 mL sous entonnoir
- 15 pots contrôles : sans plantes ; 15 pots au traitement : rhizomes *S. ebulus* (nœud et biomasse 5+0,1g)
- Plantation *S. ebulus* 2 mois avant expérience > pousses aériennes. Préparation et arrosage pots donneurs 2 mois avant expérience
- Saturation d'eau de 30 pots donneurs puis arrosage tous les 2 ou 3 jours respectivement > obtention 100 mL lessivats

- 30 pots cibles contenaient *F. x bohemica*, 10 avec akènes (9 par pots), 10 avec fragments rhizomes de population 1 et 10 avec fragments rhizomes de population 2 (1 fragment par pot) (nœud et biomasse de 1,5g+0,1g)
- Arrosage régulier des pots avec lessivats (pour chaque ensemble de 10 pots cibles, 5 arrosés avec lessivats pots donneurs, et 5 avec pots donneurs contenant *S. ebulus*)
- Déplacement aléatoire des pots cibles chaque semaine pour éviter un éventuel effet de localisation
- Durée de l'expérience : 50 jours

4 Mesures et analyses

Pour mesurer l'effet de *S. ebulus* sur *Fallopia*, le taux de germination des akènes et le temps régénération de rhizomes de *F. x bohemica* ont été évalués. Afin de tester l'impact des lessivats de *S. ebulus* sur la croissance de *F. x bohemica*, la hauteur, le nombre de feuilles et les masses sèches de celles-ci ont été mesurés durant 50 jours.

Une analyse chimique de *S. ebulus* a été faite. Après broyage et extraction, le **surnageant** recueilli des rhizomes de *S. ebulus* par **centrifugation**, a été analysé par *chromatographie liquide haute performance* aussi appelé **HPLC**, dans le but de déterminer ses composants chimiques potentiellement *allélopathiques*.



Toutes les analyses sont faites à l'aide du logiciel R 2.12.0 (R Development Core Team

2010), puis à l'aide d'**ANOVA** ou d'autres modèles mixtes d'analyse de variance.

III Résultats

Le traitement au lessivat de *S. ebulus* n'a eu aucun effet sur la régénération de *Fallopia*

comme le montre la figure 3 ci-dessous. Il n'a pas non plus eu d'effet sur le taux de germination des akènes.

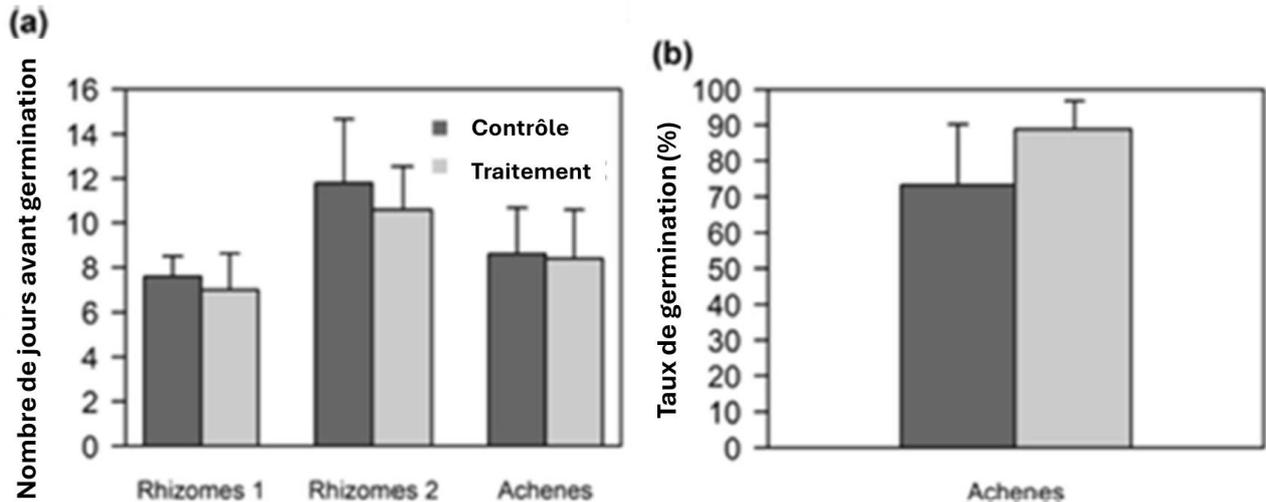


Figure.3 : Représentation du nombre de jour avant germination et du taux de germination de *Fallopia* selon si elles sont issues de rhizomes ou d'akène après traitement ou non avec un lessivat de *S.ebulus*.

Dans le cas des plantes issues des akènes, le traitement a eu plusieurs effets sur les masses sèches (Figure 4). La masse sèche souterraine a diminué de 55%, la masse sèche aérienne a diminué de 61% et la masse sèche foliaire a, elle, diminué de 70% par rapport aux plants issus d'akène n'ayant pas reçu de lessivats de *S. ebulus*. La hauteur a aussi diminué, de 38% pour les akènes traités. Au bout de 50 jours, le traitement a diminué de 20% le nombre total des feuilles.

Dans le cas des plantes provenant des rhizomes, l'interaction entre le traitement et les populations de rhizomes n'était pas significative pour aucun des traits mesurés. Mais, le nombre de jours avant l'émergence, la hauteur des plantes et le nombre de feuilles étaient différents entre les plantes provenant de la

population de rhizomes 1 et la population de rhizomes 2. Les plantes provenant de la population de rhizomes 2 étaient plus courtes, avaient moins de feuilles et prenaient plus de temps à émerger.

Le traitement a fait diminuer la masse sèche souterraine, la masse sèche aérienne, celle des feuilles ainsi que la hauteur des deux populations de rhizomes. La masse sèche souterraine a diminué de 25%, la masse sèche aérienne a diminué de 41% et la masse sèche des feuilles a diminué de 40%. La hauteur a aussi diminué de 31% pour les rhizomes 1 et de 26% pour les rhizomes 2 (Figure 4).

L'espèce introduite est sensible aux métabolites secondaires produits par l'espèce native (*S.ebulus*).

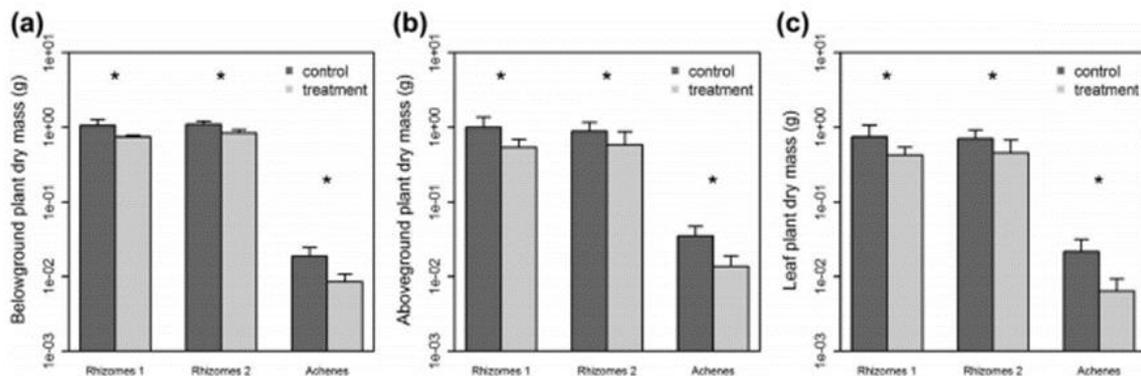


Figure 4 : Représentation de la masse sèche finale souterraine, aérienne et de feuilles de plantes provenant de trois types de propagules arrosés avec des lessivats de *S. ebulus*.

Quels sont les métabolites secondaires produits par *S. ebulus* ?

La chromatographie liquide haute performance à 280 nm de l'extraction des rhizomes de *S. ebulus* a montré sept pics principaux, identifiés comme étant des composés chimiques, des métabolites secondaires. Ce sont les flavonoïdes, la catéchine et l'épicatéchine, quatre autres ont montré des caractéristiques de la famille des acides di-hydroxycinnamiques et le dernier composé phénolique n'a pas pu être identifié.

IV Discussion

Les expériences qui démontrent l'allélopathie sont souvent critiquées en raison de la difficulté à mettre en place un dispositif expérimental adéquat. Ici la méthode implique des pots cibles arrosés par des lessivats des pots donneurs pour étudier l'allélopathie. L'utilisation du dispositif a permis de valider l'hypothèse de l'implication de l'allélopathie dans les interactions entre les plantes natives et invasives. Dans une étude précédente, la croissance de *Fallopia* a été affectée par la compétition de *S. ebulus*. Cette compétition dans le même pot est probablement due à une interférence allélopathique.

F. x bohemica peut se propager végétativement et grâce à la reproduction sexuée. La dispersion potentielle des akènes de *Fallopia* le long des rivières a été mise en évidence (Rouifed et al., 2011). Dans cette étude, les plantules issues d'akènes semblaient beaucoup plus sensibles à *S. ebulus* que les plantules issues de rhizomes (Rouifed, 2011). Les résultats obtenus confirment l'hypothèse proposée. L'application de lessivats sur les akènes a entraîné une diminution plus importante de la hauteur, du nombre de feuilles ou de la masse sèche souterraine des plantes que sur les rhizomes. Cette sensibilité pourrait participer à la prédominance de la dispersion clonale.

Les lessivats de *S. ebulus* n'ont eu aucun effet sur l'émergence des plantes. Mais au cours du stade de développement il y a un impact sur la croissance, la hauteur ainsi que sur la biomasse sèche de *Fallopia*. L'allélopathie peut donc être impliquée dans la résistance à l'invasion. Dans certains fruits et certaines feuilles de *Myrica gale*, il y a un composé allélopathique, la myricagalone, qui est phytotoxique pour *F. x bohemica* (Popovici et al., 2011). On montre ici que *F. x bohemica* est aussi sensible aux composés chimiques



provenant d'une plante native, dans des conditions plus proches des conditions naturelles.

Les interactions entre les populations de *Fallopia* et les populations de *Sambucus* pourraient faire évoluer les populations de *Fallopia* pour qu'elles tolèrent l'effet de la nouvelle allélochimie de la plante native. La chromatographie d'extraits de rhizomes de *S. ebulus* a révélé des composés connus pour être potentiellement allélopathiques (Macias et al., 2007) comme la catéchine est un composé chimique impliqué dans le succès invasif de *C. maculosa* (Thorpe et al., 2009).

Selon l'équipe de recherche, une façon d'identifier quels composés particuliers du *S. ebulus* sont impliqués dans la compétition contre *Fallopia* serait de compléter les pots cibles de *F. x bohemica* avec certains des métabolites secondaires clés identifiés dans le cocktail du *S. ebulus*. Ces métabolites peuvent

également cibler les micro-organismes, et les effets allélopathiques observés peuvent résulter d'interactions indirectes impliquant des micro-organismes (Inderjit et al., 2011). Dans cette étude, même si des précautions ont été prises avec l'utilisation d'un terreau, les microorganismes présents dans les pots donneurs peuvent modifier le cocktail biochimique de *S. ebulus*. D'autres expériences sont alors nécessaires pour approfondir les mécanismes impliquant les micro-organismes, qu'ils soient les cibles du processus allélopathique ou des organismes interférents du sol.

En conclusion, il a été montré que *F. x bohemica* est sensible aux substances allélopathiques produites par l'espèce native *S. ebulus*. Ces résultats suggèrent un nouveau type de résistance biotique, peu étudié jusqu'à présent, suivant l'hypothèse inversée des nouvelles armes.

Lexique :

Allélopathie : Ensemble des interactions chimiques entre deux ou plusieurs plantes

Espèce native : Espèce végétale ou animale qui vit dans son aire de répartition naturelle ou de dispersion potentielle.

Propagules : Petit organe pluricellulaire (qui comporte plusieurs cellules) assurant la multiplication d'une espèce.

ANOVA : Signifie l'analyse de la variance (Analysis of variance)

Surnageant : Fraction la moins dense d'un liquide qui se trouve en surface.

Rhizomes : Tiges souterraines de certaines plantes vivaces. Organes de multiplication végétative.

Centrifugation : Procédé de séparation des composés d'un mélange en fonction de leur différence de densité en les soumettant à une force centrifuge.

HPLC : La chromatographie en phase liquide à haute performance (HPLC) est une technique de chimie analytique utilisée pour séparer les composés d'un mélange chimique.





Références :

- Inderjit, Wardle, D. A., Karban, R., & Callaway, R. M. (2011). The ecosystem and evolutionary contexts of allelopathy. *Trends in Ecology & Evolution*, 26(12), 655-662. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.08.003>
- Macias, F. A., Molinillo, J. M., Varela, R. M., & Galindo, J. C. (2007). Allelopathy—A natural alternative for weed control. *Pest Management Science: Formerly Pesticide Science*, 63(4), 327-348.
- Michalet, R., Brooker, R. W., Cavieres, L. A., Kikvidze, Z., Lortie, C. J., Pugnaire, F. I., Valiente-Banuet, A., & Callaway, R. M. (2006). Do biotic interactions shape both sides of the humped-back model of species richness in plant communities? *Ecology Letters*, 9(7), 767-773.
- Popovici, J., Bertrand, C., Jacquemoud, D., Bellvert, F., Fernandez, M. P., Comte, G., & Piola, F. (2011). An allelochemical from *Myrica gale* with strong phytotoxic activity against highly invasive *Fallopia x bohemica* taxa. *Molecules*, 16(3), 2323-2333.
- Ridenour, W. M., & Callaway, R. M. (2001). The relative importance of allelopathy in interference: The effects of an invasive weed on a native bunchgrass. *Oecologia*, 126, 444-450.
- Rouifed, S. (2011). *Bases scientifiques pour un contrôle des renouées asiatiques : Performances du complexe hybride Fallopia en réponse aux contraintes environnementales*.
- Rouifed, S., Puijalón, S., Viricel, M.-R., & Piola, F. (2011). Achene buoyancy and germinability of the terrestrial invasive *Fallopia* × *bohemica* in aquatic environment: A new vector of dispersion? *Ecoscience*, 18(1), 79-84.
- Thorpe, A. S., Thelen, G. C., Diaconu, A., & Callaway, R. M. (2009). Root exudate is allelopathic in invaded community but not in native community: Field evidence for the novel weapons hypothesis. *Journal of Ecology*, 641-645.

Ont participé au travail d'écriture de cet article, en collaboration avec Florence Piola, enseignante chercheuse en écologie (par ordre alphabétique) : BAVART Noah, BITULI Laura, BOULET Ilona, FAUX Flavie, GRAMONT Paul, POULAIN-RABIER Clémence, QUIRIN Anne-Flore, LE DEVEHAT Mathéo, MINOS Ludmilla.

Comment citer cet article : Florence Piola et la 2nde GT de l'Institution Sévigné (Compiègne, FR), *Effet allélopathique d'une espèce native sur une plante exotique envahissante majeure en Europe*, Journal DECODER, 2024-02-01

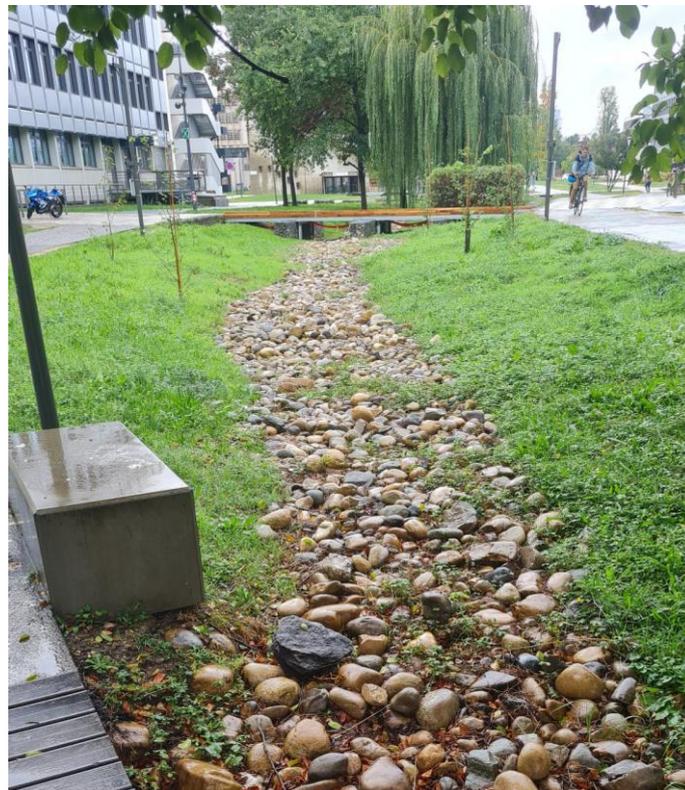


De la ville entonnoir à la ville perméable : gestion des eaux pluviales sur le campus de la Doua

Camille Dianoux¹, Mathis Fleret¹, Marina Benavides-Guedes¹, Almudena Plichon¹, Rémi Combeaux¹ (étudiant·e·s de du master 2 IWS) et la classe de Terminale 3 du lycée Robert Doisneau de Mme Valérie Corneloup² et Mr Julien Pollet² (*la liste des élèves est mentionnée en fin d'article*)

Article co-écrit

Institution : ¹Master IWS, EUR H₂O'Lyon - Bâtiment CEI 1, 66 boulevard Niels Bohr, Villeurbanne, France
²Lycée Robert Doisneau, 5 rue du Lycée, 69511 Vaulx en Velin



Rivière sèche, ouvrage d'infiltration sur le campus de la Doua (©Master2 IWS)

Résumé/abstract :

L'eau est une ressource vitale pour les sociétés humaines et sa gestion est donc essentielle. Depuis plusieurs siècles en France, les villes se sont développées en imperméabilisant leur surface. Ce qui veut dire que l'eau de pluie qui tombe sur les espaces bétonnés (chaussée, trottoirs, bâtiments...) ne peut s'infiltrer dans le sol. L'eau s'accumule donc en surface et ruisselle, provoquant des inondations. Pour éviter cela, les villes ont développé des réseaux

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.

d'égouts pour évacuer l'eau de pluie hors de la ville. C'est le modèle de la ville-entonnoir. Mais nos villes sont de plus en plus grandes et les orages sont de plus en plus intenses à cause du changement climatique. Les tuyaux des égouts ne sont assez grands et les stations d'épurations ne peuvent pas nettoyer toute l'eau de pluie mélangée aux eaux usées. Il est donc nécessaire de s'organiser autrement. Sur le campus de la Doua, depuis plusieurs décennies, sont développées des techniques de gestion des eaux de pluie qui consistent à infiltrer l'eau sur place au lieu de l'évacuer par des tuyaux : c'est le modèle de la ville-éponge. Ces aménagements sont variés et permettent de désimperméabiliser la ville ; noues, parkings poreux, bassins d'infiltrations... Ces techniques sont testées et étudiées par les scientifiques pour évaluer leur efficacité mais aussi pour savoir comment la pollution s'infiltré dans le sol avec l'eau. De plus, les ouvrages d'infiltrations de la ville-éponge gèrent l'eau de pluie tout en remplissant d'autres rôles en ville (esthétiques, parkings, espaces verts...). Il est donc très important que ces ouvrages soient entretenus. Mais ce fonctionnement complexe rend parfois compliqué leur entretien. Il faut donc changer les techniques et l'organisation du travail des agents de maintenance. Sans cela, les ouvrages ne fonctionnent plus correctement et l'eau n'est plus correctement infiltrée.

Water is a vital resource for human societies and so its management is essential. For several centuries in France, towns have developed by waterproofing their surfaces, which means that the rainwater that falls on concrete spaces (roads, pavements, buildings...) cannot infiltrate into the ground. Therefore, water accumulates on the surface and flows, which causes floods. To prevent this from happening, towns have developed sewer networks in order to drain rainwater out of the town. This is the model of the funnel city. But our towns are getting larger and larger and our storms more and more violent because of global warming. The sewer pipes are not big enough and wastewater treatment plants cannot clean all the rainwater mixed with wastewater. It is therefore necessary to find another water drainage system. For some decades, students and scientists from the University of La Doua have elaborated several rainwater management techniques; one of them consists of infiltrating water on site instead of draining it through pipes: this is the model of the sponge city. These varied layouts allow for the depaving of the city: drainage channels, porous car parks, infiltration basins... These techniques are tested and studied by scientists in order to evaluate their effectiveness and to know how pollution seeps into the ground with water. Moreover, the infiltration facilities of the sponge city manage the rainwater, while they also fulfill other functions in town (green spaces, car parks, esthetic designs...). The cleaning of such facilities is therefore very important but sometimes their complex operating system is difficult to maintain. So the maintenance technicians' techniques and work organization must be changed otherwise the sponge city facilities stop functioning correctly and water can no longer properly infiltrate the ground.

Mots clés : Gestion des eaux pluviales ; Infiltration ; Ville éponge ; solutions basées sur la nature ; Techniques alternatives

I Introduction

Depuis la seconde moitié du XX^{ème} siècle,

les villes se sont développées, nous avons construit des bâtiments et des routes pour loger la population et permettre sa mobilité,

sur une surface de plus en plus importante. Une conséquence de ce développement des villes reposant en grande partie sur le béton et autres matériaux imperméables est que l'eau de pluie dans les villes s'infiltré peu ou pas et doit donc ruisseler à la surface et être gérée par la ville pour éviter la stagnation, ou pire l'inondation.

La gestion de l'eau est un enjeu important, car elle est à la fois une ressource vitale lorsque nous l'utilisons pour boire et produire de la nourriture, mais à la fois une menace lorsqu'elle inonde nos villes, ou qu'elle transporte polluants et maladies vers les milieux naturels environnants. Cet article présente la problématique de gestion de l'eau pluviale en ville et le changement de paradigme qui est nécessaire.

Nous prendrons comme exemple le campus étudiant de La Doua à Villeurbanne, qui est un terrain d'expérimentation in situ d'aménagements de gestion de l'eau pluviale depuis plus de vingt ans. Il nous a permis d'évaluer la performance de ces ouvrages, mais nous a également révélé les difficultés auxquelles nous sommes confrontés avec l'évolution des techniques.

II Un nouveau modèle de gestion des eaux de pluie en ville

1 Un modèle de gestion hérité

Au XIX^{ème} (Snow, 1991), siècle la décision fut prise de collecter les eaux usées dans un réseau d'égouts centralisé plutôt que de les relâcher au bord des habitations, ou de les accumuler dans des **fosses septiques**¹. L'eau ruisselante était vue comme un vecteur de maladie, donc plus vite elle était collectée et évacuée par le réseau d'égouts, plus vite on

en était débarrassé.

Les premiers réseaux d'égouts construits en France étaient ce que l'on appelle des réseaux unitaires, puisqu'il n'existait qu'un réseau unique pour collecter à la fois les eaux usées domestiques et les eaux pluviales. Toutefois, on s'est rapidement rendu compte que lors de pluies trop intenses, des eaux polluées étaient directement rejetées dans l'environnement, ce qui a inévitablement un impact sur la qualité de l'eau (Holeton et al., 2011). Il subsiste encore des réseaux unitaires à Lyon, si bien qu'en 2015, 7 % des volumes collectés par les réseaux ont été rejetés sans traitement (Grand Lyon, 2017). A noter que la pollution produite par ces 7 % est égale à la pollution produite par les 93 % traités en station d'épuration.

Dans certaines villes, un second réseau d'égouts (réseau séparatif) a été construit pour n'accueillir que l'eau pluviale qui serait déversée dans le milieu naturel sans traitement. Cette solution est coûteuse, mais elle a permis de diminuer la pollution apportée au milieu naturel en limitant les déversements d'eau usée sans traitement.

Mais les préoccupations de l'époque n'étant pas les mêmes que celles d'aujourd'hui, il est temps pour nous de repenser la gestion des eaux pluviales en ville. Le réchauffement climatique nous promet des pluies de plus en plus intenses (Tramblay et al., 2021), qui nécessiteront des canalisations de plus en plus grandes. A moins que l'on ne change complètement notre manière de gérer les eaux pluviales en ville.

2 De la ville entonnoir à la ville éponge : le projet « Ville Perméable » à Lyon

¹ Les termes en gras sont définis dans le lexique en fin d'article

Il faut passer du concept de « ville entonnoir » à celui de « ville éponge » (Figure. 1), en favorisant l'infiltration de l'eau « à la source », c'est-à-dire infiltrer l'eau de pluie à proximité de l'endroit où elle tombe. Ces techniques basées sur la nature permettent

également d'éviter que l'eau ne soit trop polluée (polluants déposés par les transports, l'industrie, etc.) lors de son ruissellement. Le concept de ville éponge permet donc une gestion intégrée de l'eau, en harmonisant la nature et l'environnement urbain.

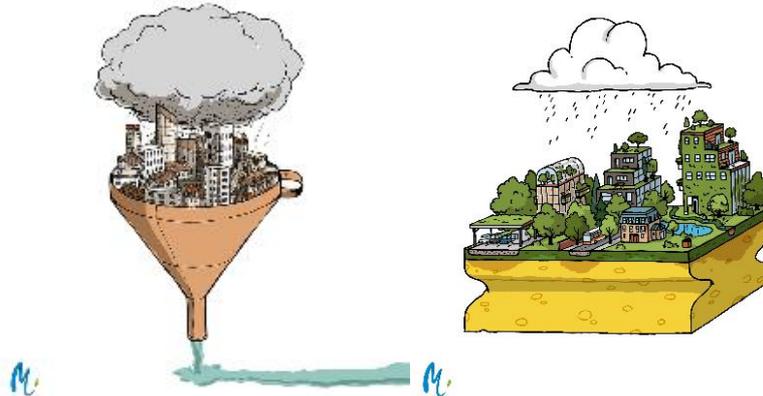


Figure 1 : illustration de la ville entonnoir et de la ville éponge (Source : Méli Mélo - GRAIE).

La manière dont nous percevons l'eau de pluie en ville a beaucoup changé, car on sait maintenant qu'elle a le potentiel d'atténuer les **îlots de chaleur**, de valoriser la nature en ville et qu'elle joue un rôle dans le cycle naturel de l'eau pour réalimenter les nappes phréatiques et prévenir les inondations.

C'est ainsi que le projet de "ville perméable" a émergé dans la métropole de Lyon, en lien avec le développement d'autres politiques publiques visant l'aménagement et la densification du territoire. Ces politiques comprennent le Schéma directeur d'assainissement, qui vise à préserver les écosystèmes naturels et les ressources en eau ; la Charte de l'arbre de la Métropole, qui cherche à améliorer l'environnement urbain en réintégrant la nature en ville ; le Plan climat, qui vise à améliorer le bien-être et la santé en luttant contre les "îlots de chaleur" ; et enfin, l'adaptation et la réduction de la vulnérabilité aux inondations.

III Le campus de La Doua, un exemple de ces nouveaux aménagements

Pour gérer au mieux les eaux de pluie en milieu urbain, différents aménagements ont été mis en place sur le campus universitaire de La Doua, à Villeurbanne, pilotés par le GRAIE (graie.org) afin d'étudier leurs performances hydrauliques, environnementales et énergétiques. Ils sont assez divers, et suivent principalement deux logiques distinctes.

1 Collecter et évacuer

Lorsque l'eau de pluie tombe, on peut la collecter et la faire circuler par ruissellement jusqu'à de grands bassins, dits bassins d'infiltration. Ils retiennent l'eau pendant maximum 24 heures, pour laisser le temps à l'eau de s'infiltrer progressivement dans le

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.

sol. A côté de l'IUT, on trouve par exemple un bassin (Figure. 2) capable de contenir 4000 m³ d'eau, soit la consommation annuelle d'eau de

75 Français, et qui draine 2,5 hectares alentour.



Figure 2 : Le bassin d'infiltration des eaux pluviales de l'IUT, campus de La Doua (source : GRAIE)

Ces bassins sont efficaces pour stocker l'eau de pluie mais ont une forte empreinte au sol, c'est à dire qu'ils consomment beaucoup d'espace. Par ailleurs, les premiers de ce genre n'étaient pas toujours bien intégrés à la ville qui les entourait, et pouvaient apparaître comme des terrains en friche, ou mal entretenus. C'est pourquoi certains bassins d'infiltration ont aussi une autre fonction. Par exemple, on trouve à La Doua un terrain de sport qui sert également à recueillir les eaux de pluie des environs.

2 Infiltrer localement

Sur le campus de la Doua, il existe une gestion de la pluie « à la source », dont le principe est d'infiltrer l'eau directement à l'endroit où les gouttes de pluie tombent. Cela permet d'avoir des installations moins consommatrices d'espaces et plus discrètes. Par exemple, des noues, qui sont des fossés peu profonds, récoltent puis infiltrent les eaux

de pluie tombées à proximité. Un autre exemple de gestion de la pluie « à la source », ce sont les parkings perméables, faits d'un type de béton particulier qui laisse pénétrer l'eau.

Les exemples de gestion « à la source » sont nombreux. Pour améliorer la capacité d'infiltration de ces ouvrages, on peut utiliser des plantes : c'est ce que l'on appelle l'ingénierie végétale. Par exemple, certaines noues, mais pas toutes, sont végétalisées, c'est-à-dire recouvertes de végétaux plantés en terre : l'avantage est que les racines des plantes maintiennent l'imperméabilité du sol et facilitent ainsi l'infiltration de l'eau de pluie. Les ouvrages « à la source » permettent aussi de compenser l'imperméabilité des sols de la ville, recouverts de béton ou d'asphalte : de l'eau rentre dans la terre et peut faire pousser des plantes dans le cas des ouvrages végétalisés, ce qui participe à la préservation de la biodiversité en ville. Enfin, la végétation en ville aide à filtrer la pollution (Figure. 3).

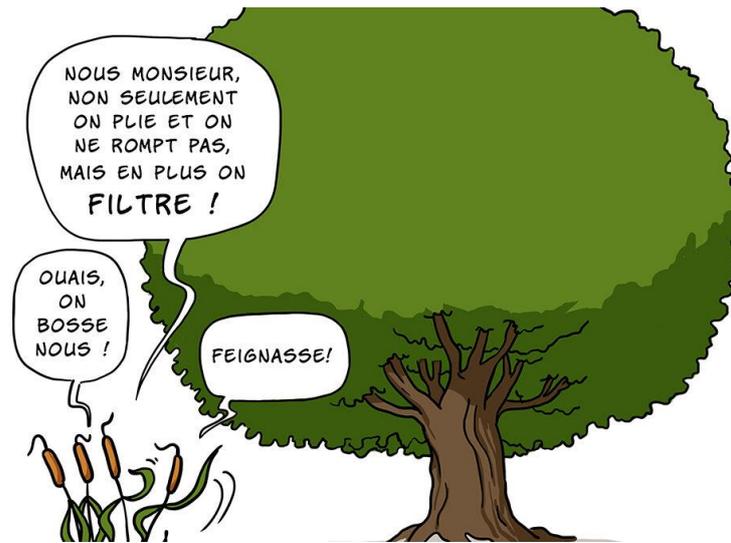


Figure 3 : La végétalisation de la ville aide à filtrer la pollution (source : GRAIE)

IV La gestion des eaux pluviales : un objet de recherche scientifique

Les aménagements de gestion des eaux pluviales sont des objets de la recherche scientifique : ils ont été conçus après des années de recherches théoriques et pratiques. Mais ce processus ne s'arrête pas une fois les infrastructures construites, ils servent eux-mêmes de terrain d'étude, pour pouvoir collecter des données pour de futur projets, et pour déterminer ce qui a été efficace ou non avec leur implémentation.

1 La recherche expérimentale : un travail de terrain

La recherche scientifique expérimentale consiste à formuler des hypothèses et établir un modèle théorique. Si le modèle est juste, il pourra être utilisé dans d'autres cadres, pour construire d'autres ouvrages d'infiltration par exemple. Et pour savoir si le modèle est juste, il faut comparer les résultats attendus à des mesures expérimentales sur le terrain ou en laboratoire, effectuées grâce à des capteurs tels que le **pluviomètre** (Figure 4) ou le **piézomètre**.

Figure 4 : Pluviomètre (source : wikipedia)



2 La recherche sur les aménagements du campus de la Doua

Toutes les installations du campus de La Doua sont également des lieux d'expérimentation scientifique, un laboratoire à ciel ouvert. Des installations y sont testées, telles que les noues et les bassins d'infiltration. Elles sont munies de différents capteurs qui mesurent par exemple les polluants ou encore les **débites** d'eau qui

s'infiltrent dans le sol. De cette façon, les scientifiques peuvent évaluer la capacité de ces installations à filtrer la pollution urbaine collectées par les eaux de pluie. Les résultats obtenus permettent d'étudier l'effet des bassins d'infiltration sur les nappes phréatiques ou de mesurer les polluants (métaux lourds, pesticides) dans les pluies en milieu urbain.

V La perception des techniques alternatives d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain

Avec le passage de la ville-entonnoir à la ville-éponge, on observe un vrai changement d'ouvrages pour les eaux pluviales.

1 Par les usagers

Les installations de la ville-entonnoir ne servent qu'à gérer les eaux de pluie. Mais les aménagements hybrides de la ville-éponge ont aussi d'autres usages et donc d'autres types d'usagers.

Il y a peu de place disponible en ville, mélanger les usages est un bon moyen de gagner de l'espace. En plus d'infiltrer localement l'eau de pluie, ils remplissent un rôle dans le paysage urbain : stationnement des véhicules pour les parkings poreux, nature en ville, espace récréatif (Leung et al., 2013) et habitat pour la biodiversité locale (Gascon, 2019) pour les jardins de pluie... Mais il faut faire attention aux problèmes que peuvent causer ses usages (bruits, déchets, sécurité...). Par exemple, l'un des objectifs du bassin d'infiltration du campus de la Doua est qu'il ne devienne pas un lieu de loisirs attractif, ce qui nécessiterait des aménagements en plus.

2 Par les gestionnaires et les opérateurs

Mais ces ouvrages hybrides sont compliqués à gérer. De nouvelles méthodes

sont nécessaires pour les entretenir. Ils ne sont pas uniquement constitués de béton, mais aussi souvent des végétaux ou d'une surface minérale. Les collectivités doivent alors mobiliser différents services pour entretenir un seul aménagement ! Par exemple, pour une noue végétalisée (sorte de fossé d'infiltration) similaire à la Figure 5 : un premier service pour tailler les arbres, un second pour l'herbe, un troisième pour ramasser les déchets qui s'y seraient accumulés...



Figure 5 : une noue végétalisée (source : GrandLyon la métropole)

C'est tout une nouvelle méthode de travail qui est nécessaire (Cossais, 2019). Cette difficulté complique le bon fonctionnement des ouvrages de la ville-éponge (Berdier & Toussaint, 2007). L'entretien de ces ouvrages alternatifs a aussi des conséquences sur la manière dont les agents perçoivent leur métier et l'évolution de leur rôle. Certains ont peur que « le métier se perde » et que l'évolution de leurs tâches ait un impact négatif sur leurs conditions de travail (Cossais, 2019).

Sur le campus de la Doua, plusieurs ouvrages ne fonctionnent pas correctement, principalement à cause des problèmes d'entretiens.

VI Conclusion

Pour gérer l'eau en ville, de nouvelles pratiques doivent être mises en place dans un contexte de changement climatique. Au cours du XIX^{ème} siècle, les eaux de pluie ont été vues comme propagatrices de maladies. En conséquence, un système de collecte et d'évacuation de l'eau de pluie a été créé. Aujourd'hui, nous avons de nouveaux principes qui obéissent à l'objectif suivant : l'infiltration de l'eau de pluie, dès que celle-ci touche le sol. Ceci nous oblige à un nouveau type d'aménagement. Il s'agit de se

représenter la ville comme une éponge, et non plus comme un entonnoir.

Il n'est pas simple de mettre en place ce changement car les aménagements qu'il implique nécessitent l'intervention de différentes entités : services de la métropole de Lyon, entreprises de travaux publics, élus. Ils doivent aussi être compris par les citoyens.

Ces sujets sont aussi traités par des scientifiques avec des capteurs permettant de mesurer la **pluviométrie**, les débits et polluants, et leurs évolutions dans le temps. Et c'est grâce à ces études faites par les scientifiques de façon régulière que ces aménagements sont en constante évolution.

LEXIQUE :

Débit : volume d'eau qui s'écoule dans un point précis en un temps donné. Il est généralement exprimé en m³/s ou en L/s.

Fosse septique : cuve de récupération individuelle des eaux usées, utilisée en France dans certaines zones reculées où il n'y a pas de réseau collectif d'assainissement des eaux usées (égouts).

Îlots de Chaleur : Zones urbaines où la température est nettement plus élevée que dans les zones environnantes, en raison de l'absorption et de la rétention de la chaleur par des surfaces urbaines telles que l'asphalte et le béton.

Piézomètre : appareil permettant de mesurer la piézométrie, c'est-à-dire la profondeur de la nappe phréatique.

Pluviomètre : appareil permettant de mesurer la pluviométrie.

Pluviométrie : mesure de la quantité d'eau tombée dans un lieu donnée. Elle est généralement exprimée en centimètres, pour désigner la hauteur d'eau tombée.

Références :

Berdier, C., & Toussaint, J.-Y. (2007). *Sept hypothèses sur l'acceptabilité des ouvrages alternatifs d'assainissement des eaux pluviales par infiltration*. Novatech 2007-6ème Conférence sur les techniques et stratégies durables pour la gestion des eaux urbaines par temps de pluie/Sixth International Conference on Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management.

- Cossais, N. (2019). Gestion intégrée des eaux pluviales : Position des services techniques urbains et évolution induite des métiers. Métropole de Lyon. *Les Cahiers du Développement Urbain Durable, hors-série*, 5.
- Gascon, É. (2019). Impacts et opportunités de la nouvelle gestion des inondations dans les domaines de la conception et de l'aménagement urbain. *Projets de paysage. Revue scientifique sur la conception et l'aménagement de l'espace*, 20.
- Grand Lyon, (2017, Août), « Projet ville perméable : guide d'aide à la conception et à l'entretien ». https://www.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/media/pdf/eau/20170926_guide-projet-ville-permeable.pdf (consulté le 10 octobre 2023).
- Holeton, C., Chambers, P. A., & Grace, L. (2011). Wastewater release and its impacts on Canadian waters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 68(10), 1836-1859.
- Leung, S. A., Baati, S., Patouillard, C., Toussaint, J.-Y., & Vareilles, S. (2013, juin 23). *Que fabrique-t-on avec les eaux pluviales urbaines ? Les dispositifs techniques et les usages du parc Kaplan dans l'agglomération lyonnaise*. 8^{ème} Conférence internationale NOVATECH. <https://shs.hal.science/halshs-00968397>
- Snow, J. (1991). [On the mode of communication of cholera. 1855]. *Salud Publica De Mexico*, 33(2), 194-201.
- Tramblay, Y., Ribes, A., Somot, S., Neppel, L., Lucas-Picher, P., Vinet, F., & Sauquet, E. (2021). Impacts du changement climatique sur les pluies intenses et les crues en Méditerranée. *LHB*, 107(1), 1-5.

Ont participé au travail d'écriture de cet article, en collaboration avec Camille Dianoux, Mathis Fleret, Marina Benavides-Guedes, Almudena Plichon, Rémi Combeaux, étudiant·e·s de du master 2 IWS, les élèves de terminale (par ordre alphabétique) : ANOUAR Jihane, ASSAOUI Medhi, BOUDEHANE Ismaël, AGKOZ, Naziré, BRAITIT Baasma, DEKAR Lina, DIA Mouhamed, GASMI Aldjia, HAMDAROUY Maryem, HAMRI Soumia, IBRAHIM Jindar, JACQUET Sonny, KEBBOUCHE Wafaa, KOC Hayrunissa, MAGHRAOUI Selsabil, MAHBOUB Nisrine, METRI Anis, MOHAMED HASSAN Abdifatah, NAAMANI Soumeya, NOKA Xhoveda, RANDRIAMAZAORO Gérald, SEMAKDJI - BEN HADJ KASSEM BOUBAKER Romayssa, SOK Panha, TALEB Delci, TANRIKULU Erdem, TOLA Dorian, YAPICI Rümeyssa, ZAGAI Mohamed, ZAHIR Narjis, ZINGARA Amine, ZITOUNI Maryam.

Comment citer cet article : Camille Dianoux, Mathis Fleret, Marina Benavides-Guedes, Almudena Plichon, Rémi Combeaux et la classe de Terminale 3 du lycée Robert Doisneau (Vaux en Velin, FR), *De la ville entonnoir à la ville perméable : gestion des eaux pluviales sur le campus de la Doua*, Journal DECODER, 2024-02-16

Mesure de la sédentarité et impact du contexte scolaire chez des élèves de la 4ème à la seconde

Ludivine Paris^{1,2} (chercheuse) et les élèves de la classe Pierre de Coubertin/Alice Milliat du collège Saint-Joseph et lycée Saint-Pierre (Cusset) de Carole Zacharie³ (la liste des élèves est mentionnée en fin d'article)

Institution

¹ Projet Cap2025, Université Clermont Auvergne, 49 bd François Mitterrand, 63001 Clermont-Ferrand

² Vichy City Lab, Vichy Communauté, 9, place Charles de Gaulle, CS 92956 – 03209 VICHY Cedex

³ Collège Saint-Joseph/Lycée Saint Pierre, 26 All. Pierre Berthomier, 03300 Cusset



Résumé

L'évolution de nos modes de vie, et plus particulièrement de nos comportements actifs/inactifs et sédentaires, ont eu un impact indéniable sur l'incidence de nombreuses maladies. Il est maintenant bien reconnu que les bienfaits de l'AP ne suffisent pas à éliminer les méfaits de la sédentarité. Malgré ces évidences, une part non négligeable de la population est inactive et très sédentaire. Les chiffres

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.

sont d'autant plus alarmant chez les adolescents qui sont dans une période au cours de laquelle ils sont en plein développement et en plein optimisation d'un « capital santé ». Ainsi la promotion des comportements sains est essentielle auprès de ce public. Afin d'agir efficacement sur les comportements et notamment la sédentarité des adolescents, il est d'abord nécessaire de faire une évaluation du temps passé assis. C'est l'objectif de ce travail mené par des élèves de 3^{ème} du collège St Joseph de la classe Pierre de Coubertin/Alice Milliat accompagnés du City Lab de Vichy Communauté. 163 élèves de 4^{ème}, 3^{ème} et seconde ont répondu à un questionnaire en ligne, spécialement élaboré. Les données collectées ont permis de mesurer le temps moyen de sédentarité selon les jours afin notamment de voir l'impact de l'école. Les résultats mettent en avant un temps passé assis nettement plus important un jour d'école que le mercredi et qu'un jour de week-end (10h25 vs 7h27 vs 6h41). Ces données soulèvent l'importance de trouver des solutions au sein des établissements scolaire pour accompagner les adolescents dans la diminution de la sédentarité.

Mots clés : activité physique, sédentarité, adolescents, temps scolaire

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

Depuis quelques années déjà, les institutions scientifiques et les politiques de santé publique mettent en avant les bienfaits de l'activité physique (AP) et les effets délétères associés à l'inactivité physique et à la sédentarité

L'activité physique (AP) se définit comme « tout mouvement corporel produit par la contraction des muscles squelettiques et dont le résultat est une augmentation de la dépense énergétique par rapport à la dépense de repos » (Berthouze-Aranda S.E. et Reynes E, 2011). L'AP est largement reconnue pour ses bienfaits quels que soient le sexe, l'âge et l'état de santé (Inserm, 2008, 2019). À titre d'exemple chez les enfants et les adolescents, l'AP favorise une bonne croissance, renforce le tissu osseux, améliore la confiance en soi et réduit les risques de surcharge pondérale et de maladie. De plus, elle a une influence à plus long terme puisqu'elle favorise aussi un mode de vie actif à l'âge adulte. Face à ces constats, l'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS) recommande aux adolescents d'être actifs et de pratiquer 60 minutes par jour d'AP d'intensité modérée à élevée.

L'inactivité physique et la sédentarité sont deux comportements distincts. L'inactivité physique correspond à un manque d'AP au regard des recommandations internationales (Tremblay et al, 2010). La sédentarité est, quant à elle, définie comme « tous comportements éveillés, passés en position assise ou allongée, et dont la dépense énergétique est proche de celle de repos » (Tremblay et al, 2012). Cela comprend par exemple le temps passé assis dans les transports, devant les écrans ou à un bureau, notamment pendant la journée d'école. Ce facteur augmente le risque de surpoids et d'obésité, le risque de développer de nombreuses maladies chroniques telles que

les cancers, le diabète ou encore les maladies cardiovasculaires (Berthouze-Aranda S.E. et Reynes E, 2011 ; Sittarame D et Golay A, 2013). Les risques pour la santé augmentent dès 3 heures par jour, et sont d'autant plus importants après 7 heures par jour de sédentarité (Chau et al, 2013 ; Rezende et al 2016). Ainsi il est recommandé de limiter le temps total de sédentarité. Enfin, pour compléter ces recommandations, l'Observatoire National de l'Activité Physique et de la Sédentarité (ONAPS) conseille de rester moins de 2h consécutives en position assise ou semi-allongée et d'effectuer 5 à 10 minutes de mouvements après une période de 2 heures de sédentarité. Les écrans prenant une part de plus en plus importante dans les activités sédentaires quotidiennes, il est également indiqué de limiter ce temps à maximum 2 heures par jour.

En considérant les définitions de l'AP et de la sédentarité, ces 2 comportements peuvent coexister. Ainsi, on distingue alors 4 profils à savoir :

- Actif et non sédentaire : adolescent pratiquant une AP modérée à intense au moins 60 min/jr et étant assis moins de 3h/jr
- Actif et sédentaire : adolescent pratiquant une AP modérée à intense au moins 60 min/jr et étant assis plus de 3h/jr
- Inactif et non sédentaire : adolescent pratiquant une AP modérée à intense moins de 60 min/jr et étant assis moins de 3h/jr
- Inactif et sédentaire : adolescent pratiquant une AP modérée à intense moins de 60 min/jr et étant assis plus de 3h/jr

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.

L'AP étant un facteur protecteur et la sédentarité un facteur de risque pour la santé, certains auteurs se sont interrogés sur les effets combinés de ces comportements. Une revue d'articles, analysant les données de plus d'1 millions d'individus, a mis en avant qu'une pratique d'AP à raison de 60 à 75 minutes par jour élimine les effets délétères de la sédentarité (Ekelund et al, 2016). Une moindre pratique, de l'ordre de 30 minutes par jour, modère les effets de la sédentarité mais ne les compense pas intégralement. Enfin, les risques pour la santé sont d'autant plus élevés lorsque l'inactivité physique est associée à la sédentarité. Il apparaît donc indispensable de promouvoir, non seulement une pratique suffisante et régulière d'AP, mais également de lutter quotidiennement contre la sédentarité.

Malgré les évidences concernant ces comportements, une part non négligeable de la population française reste inactive et trop sédentaire. Selon les dernières études, seulement 27% des adolescents âgés de 11 à 17 ans pratiquent quotidiennement 60 minutes d'AP, principalement grâce à la pratique en milieu scolaire et en club (Verdot 2019). Les filles sont généralement moins actives que les garçons (18% vs 37%, respectivement). Les dernières données au sujet de la sédentarité des adolescents sont alarmantes. D'après l'étude ESTEBAN, 87% des adolescents âgés de 11 à 17 ans passent plus de 2h par jour devant un écran (Verdot 2019). Selon l'étude INCA 3, le temps moyen devant un écran était de 185 min/jr.

Les enfants et les adolescents représentent un public cible prioritaire. En effet, la promotion des comportements sains chez les jeunes prend tout son sens puisque les habitudes s'acquièrent dès le plus jeune âge. Ainsi, afin que les générations futures aient un mode de vie le plus sain possible, de nombreuses actions leur sont dédiées : enseignement de

l'EPS dans les établissements scolaires, messages publicitaires, aires de jeux dans l'espace public, parcours de santé... Aussi, pour agir efficacement, il est indispensable d'évaluer et quantifier ces comportements. Il existe de nombreuses méthodes basées sur l'analyse des flux de chaleur, des échanges gazeux, de la fréquence cardiaque ou encore des mouvements. Néanmoins, ces outils de mesure sont souvent très onéreux et nécessitent une expertise. Ils sont par conséquent réservés aux laboratoires. En parallèle, les outils connectés (podomètre, montre et smartphone) sont de plus en plus répandus, abordables et utilisables par une majorité de la population, permettant de quantifier l'AP dans des conditions habituelles de vie. Enfin, l'outil le plus largement utilisé, notamment pour des études avec des grands effectifs, sont les questionnaires permettant de rapporter les activités pratiquées (type, intensité, durée) sur une période donnée.

Afin de proposer des actions efficaces, l'objectif de ce travail était de mesurer, à l'aide d'un questionnaire, les temps et de sédentarité de collégiens et lycéens, et de comparer ces temps selon le sexe, la classe et les jours de la semaine. Ce travail a fait l'objet d'une première publication (Paris et al, 2021)

II. Méthode

1. Population

La population cible choisie fut les élèves de 4^{ème}, 3^{ème} et 2^{nde} du collège/lycée Saint Joseph. Aucun critère d'exclusion n'a été mentionné, ainsi tous les adolescents de ces classes ont été invités à participer à cette étude. Trois niveaux de classe ont été choisis afin d'étudier l'évolution de la sédentarité en fonction de l'âge.

2. Mesures

Afin de mesurer la sédentarité, un questionnaire d'auto-déclaration a été

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.

spécifiquement élaboré . Ce questionnaire est constitué de 9 rubriques. Chacune de ses rubriques contient dix questions permettant d'évaluer les temps d'activités physiques et de sédentarité et de motivation. Les questions ont été choisies pour convenir à tous les types de profil, du plus sédentaire au plus actif. La majorité des questions sont à choix multiples pour faciliter des réponses courtes et claires et inciter les élèves concernés à répondre sérieusement. Le questionnaire a été diffusé via l'espace numérique de travail de l'établissement sous la forme d'un google forms.

3. Calculs

À partir des données collectées, les temps moyens de sédentarité ont pu être calculés pour chacun des participants. A partir de ces temps, les participants ont été classés dans 3 catégories, à savoir « Peu sédentaire » lorsque le temps était inférieur à 3 heures par jour, « Moyennement sédentaire » lorsqu'il était compris entre 3 et 7 heures par jour, et enfin

« Très sédentaire » lorsqu'il était supérieur à 7 heures par jour. Dans un premier temps, nous avons comparé les temps de sédentarité entre les jours de la semaine et les jours de week-end pour évaluer l'impact de l'école sur la sédentarité. Puis dans second temps, des comparaisons selon le sexe et le niveau de classe ont été effectuées.

Résultats

1. Population

Un total de 316 élèves étaient dans les classes visées. Parmi eux, 163 élèves, dont 68,1% de filles, ont répondu au questionnaire. La répartition entre les classes est homogène avec environ 1/3 des élèves dans chacune des classes (Tableau 1)

		Effectif	
		Nb	%
Total		163	100%
Sexe	Femme	111	68,1%
	Homme	52	31,9%
Niveau de classe	4^{ème}	51	31,3%
	3^{ème}	58	35,6%
	2^{nde}	54	33,1%

Tableau 1 : caractéristiques de la population

2. Sédentarité

Effet du jour de la semaine

Le temps de sédentarité varie selon les jours de la semaine (Figure 1). En semaine à l'école, les élèves passent en moyenne 10h25 par jour en position assise, avec un maximum de

13h20. Le mercredi, le temps moyen de sédentarité est de 7h27, avec un maximum de 10h. Pour le week-end, le temps de sédentarité est en moyenne de 6h41 par jour, avec un maximum de plus de 10h.

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.

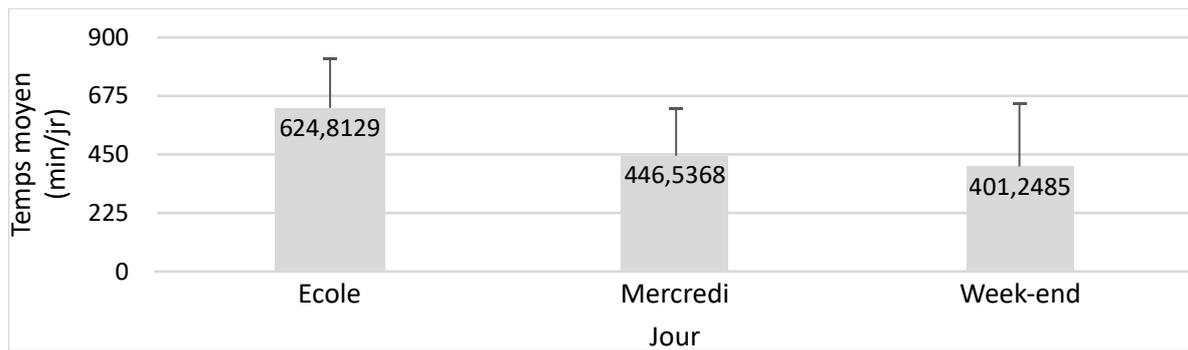


Figure 1 : Temps moyen de sédentarité selon les jours de la semaine

Au regard des profils de sédentarité, une large majorité des élèves (84%) sont très sédentaires lors des jours d'école (Figure 2). Le mercredi et le week-end, cette proportion est nettement diminuée puisque respectivement 1 adolescent sur 2 et 1 adolescent sur 3 sont

dans cette catégorie. Cette diminution se fait notamment au profit de la catégorie des moyennement sédentaires. De plus, la part des peu sédentaires a également augmenté, en particulier le week-end (Figure 2).

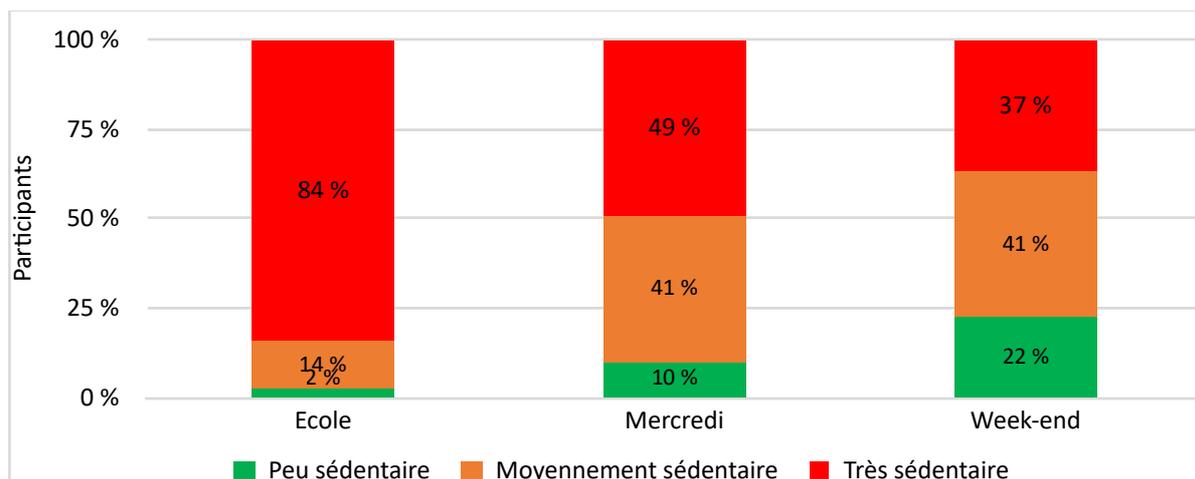


Figure 2 : Répartition des partitions selon les profils de sédentarité et les jours de la semaine

Effet du sexe

Quel que soit le jour de la semaine, le temps moyen de sédentarité est similaire entre les filles et les garçons. De manière globale, les garçons sont moins sédentaires que les filles

avec une moyenne de 10h un jour d'école et 6h40 le mercredi et le week-end, contre 10h36 un jour d'école et 7h15 le mercredi et le week-end pour les filles.

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.

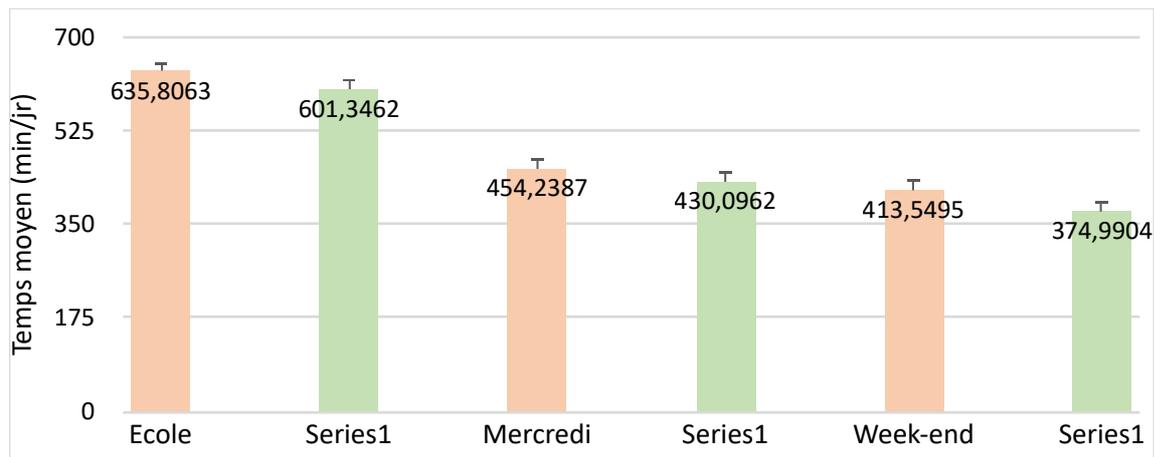


Figure 3 : Temps moyen de sédentarité selon le sexe et les jours de la semaine

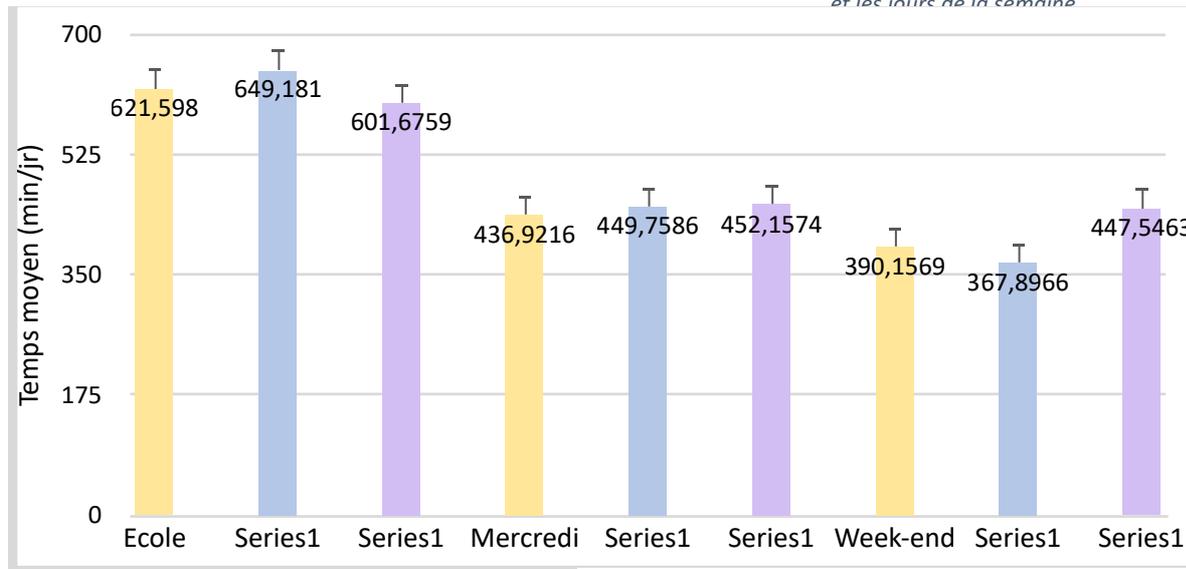
Effet de la classe

Comme pour le sexe, les temps moyens de sédentarité, quel que soit le jour de la semaine, sont similaires entre les classes (Figure 4). La plus grande différence est observée le week-end. En effet, sur ces jours les 2^{nde} sont en moyenne sédentaires pendant 7h28, alors que les 4^{ème} et le 3^{ème} sont respectivement sédentaire pendant 3h30 et 3h08 (Figure 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 4 : Temps moyen de sédentarité selon les classes et les jours de la semaine



III. Discussion

L'objectif de ce travail était de mesurer, à l'aide d'un questionnaire, le temps moyen de sédentarité chez des collégiens et des lycéens, et d'évaluer l'impact du jour de la semaine, du sexe et du niveau de classe.

Le temps moyen de sédentarité rapporté par les adolescents est, respectivement, de 10h25, 7h27 et 6h41, un jour d'école, un mercredi et un jour de week-end. Il est difficile de comparer ces temps par rapport à ceux de la population adolescente nationale. En effet, dans son dernier état des lieux de l'AP et de la sédentarité des enfants et des adolescents français (« Report Card 2022 »), l'ONAPS indique qu'il n'existe pas de données récentes du temps total de sédentarité. Les dernières études, à savoir INCA 3 et ESTEBAN, ont uniquement évalué le temps passé devant les écrans. D'après ces études, les adolescents passent entre 3 et 4 heures par jour devant un écran. Le Centre National d'appui au Déploiement en Activité Physique et lutte contre la Sédentarité rapporte, quant à lui, une moyenne de 4h27 chez les collégiens. Ainsi, en tenant compte des comportements sédentaires hors écrans, le temps total de

sédentarité sera plus élevé. Chez un adolescent de 15 ans, ce temps total correspondrait à 75% de sa journée (Janssen 2016), soit 11h15 si l'on considère qu'un adolescent dort 9 heures par jour. Ce temps estimé est proche du temps déclaré par les adolescents de l'étude, notamment un jour d'école.

Ainsi, une large majorité des adolescents de l'étude (84%) est considérée comme très sédentaire un jour d'école. Cette proportion diminue fortement le Mercredi (49%) et le week-end (39%) mettant en avant l'impact du temps passé à l'école sur la sédentarité des adolescents. En effet, au même titre que les adultes peuvent être très sédentaires au travail, les enfants et les adolescents le sont à l'école. Diverses études et auteurs s'accordent d'ailleurs sur l'augmentation nette du temps total de sédentarité au moment de l'entrée à l'école (Tanaka 2014, Janssen 2016, Duclos 2021).

Dans cette étude, les garçons semblent moins sédentaires que les filles. Les études INCA 3 et ESTBAN ont rapporté des différences selon le sexe. Quelle que soit l'étude, les garçons

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.

passent plus de temps que les filles devant un écran. En effet, le temps moyen est de 5h10 pour les garçons âgés de 15 à 17 ans, contre 4h30 chez les filles du même âge (INCA 3). Aussi, 87% des garçons passent plus de 3 heures par jour devant un écran contre 71% des filles (ESTEBAN). Néanmoins ces chiffres ne prennent en compte que les activités devant les écrans et pas la sédentarité totale.

Aussi, les temps de sédentarité entre les niveaux de classe sont similaires, avec un temps plus élevé le week-end chez les adolescents en classe de seconde. En émettant l'hypothèse que le temps passé à l'école contribuait pour une grande partie au temps total de sédentarité, les auteurs s'attendaient à ne pas voir de différence. En effet, que ce soit au collège et au lycée, le nombre d'heures d'enseignement est équivalent, à savoir 26 heures par semaine.

Au-delà des temps moyens de sédentarité il serait pertinent d'évaluer le profil de sédentarité sur la journée afin de quantifier le nombre et la durée des ruptures de la position assise, semi-allongée ou allongée. Également il serait intéressant d'étudier quelles sont les activités que les élèves effectuent pendant les périodes de sédentarité. En effet, le temps passé assis est délétère, mais une attention plus particulière est portée sur les temps passés devant les écrans, notamment lorsque ceux-ci sont associés aux grignotages. Enfin, les données d'AP n'ont pas été analysées dans cet article. Il serait cependant intéressant d'effectuer ce travail puisque ces 2 comportements sont tout aussi importants pour la santé.

La principale limite de cette étude est que les données ont été collectées à l'aide d'un questionnaire d'auto-déclaration. Bien que privilégiée lors d'étude de grand groupe, la fiabilité des données est souvent remise en cause. En effet, il est courant que les temps

d'AP soient surévalués, et à l'inverse, les temps de sédentarité sous-évalués.

La force principale de ce travail est la taille de l'effectif. En effet, un total de 163 adolescents ont répondu à ce questionnaire. Malgré les biais d'estimation des temps, l'effet de masse permet d'avoir une bonne estimation des comportements de cette population.

IV. Conclusion

Cette étude a permis de confirmer que le temps de sédentarité est plus important les jours d'école. Ainsi les adolescents passent moins de temps assis le week-end. Il serait intéressant d'analyser les temps d'AP pour voir si ce temps en moins passé assis est bien remplacé par de l'AP.

Aussi, ce travail avait pour objectif d'aboutir sur des propositions d'actions pour permettre aux collégiens et lycéens d'adopter un meilleur mode de vie. L'analyse des motivations seraient également intéressante pour identifier quelles sont les pistes à privilégier.

V. Références

Berthouze-Aranda, S. E. & Reynes, E. « La sédentarité : un processus physiopsychologique et un facteur de risque pour la santé pour tous » *Science & Sports*, 2011; 26 (91-196)

Chau et al. « Daily sitting time and all-cause mortality : a meta-analysis » *Plos One*, 2013 ; 8 (11)

Duclos, M. « Epidémiologie et effets sur la morbi-mortalité de l'activité physique et de la sédentarité dans la population générale » *Revue du rhumatisme monographique*, 2021 ; 88 (177-182)

Ekelund et al. « Does physical activity attenuate or even eliminate the detrimental association of sitting with mortality ? A

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.

harmonised meta-analysis of data from more than 1 million men and women » *Lancet*, 2016 ; 388 (1302-1310)

Inserm (dir.). *Activité physique : contextes et effets sur la santé. Rapport. Paris : Les éditions Inserm, 2008; XII - 811 p. - (Expertise collective)*

Inserm (dir.). *Activité physique : Prévention et traitement des maladies chroniques. Collection Expertise collective. Montrouge : EDP Sciences, 2019; XVI-805 p.*

Janssen, X et al. « Development of sedentary behavior across childhood and adolescence: longitudinal analysis of the Gateshead Millennium Study » *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 2016 ; 13 (88)

Paris, L, et les élèves de la classe Pierre de Coubertin/Alice Milliat du collège Saint-Joseph (Cusset). « Mesure de la sédentarité chez des collégiens et des lycéens : protocole d'étude » *Journal DECODER, 2021*

Rezende, L.F.M. et al. « All-cause mortality attributable to sitting time. Analysis of 54

countries worldwide » *American Journal of Preventive Medicine* 2016 ; 51 : 2 (253-263)

Sittarame, F & Golay, A. « Comportement d'inactivité physique : une réponse adaptative inappropriée au maintien de la santé dans nos sociétés ? » *Revue Médicale Suisse*, 2013; 9 (679-683)

Tanaka, C. Reilly, J.J. & Huang, W.Y. « Longitudinal changes in objectively measured sedentary behaviour and their relationship with adiposity in children and adolescents: systematic review and evidence appraisal » *Obesity Reviews*. 2014 ;10 (791-803)

Tremblay, M.S. Colley, R.C. Saunders, T.J. Healy, G.N & Owen, N. « Physiological and health implications of a sedentary lifestyle » *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 2010; 35 : 6 (724-740)

Verdot, C. Salanave, B & Deschamps, V. « Activité physique et sédentarité dans la population française. Situation en 2014-2016 et évolution depuis 2006-2007 » *Santé Publique France*, 2020

Ont participé au travail d'écriture de cet article, en collaboration avec Dr Ludivine Paris, chercheuse en Activité Physique et Santé sous l'encadrement de Mme Carole Zacharie (par ordre alphabétique) : Agathe Gaudron, Ema De Ferrier, Emma-Louise Pepe, Matthieu Coutière, Tiago Petitrenaud

Comment citer cet article : Ludivine Paris et les élèves de la classe Pierre de Coubertin/Alice Milliat du collège Saint-Joseph (Cusset). « Mesure de la sédentarité et impact du contexte scolaire chez des élèves de la 4ème à la seconde » *Journal DECODER*

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.