

Quelles sont les difficultés rencontrées par les étudiants
de premier cycle pour définir la notion du vivant à
l'échelle microscopique ?

De Ron Corentin

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme
de Master en Biologie des Organismes et Écologie

Promoteur : A. Vervoort (Unamur)

Remerciements

Le travail réalisé dans le cadre de ce mémoire a pu se faire grâce à l'aide et au soutien de nombreux intervenants.

Tout d'abord, j'exprime mes remerciements à mon promoteur de mémoire, Monsieur Vervoort, qui me suit dans ce projet depuis près de deux années. Ses conseils ont été précieux pour mener à bien la réalisation de cette étude.

Je remercie également Alodie qui m'aura suivi de près dans les derniers mois de ce travail. Son aide et ses conseils m'ont également beaucoup apporté pour mener à bien cette recherche. Un merci aussi aux différents assistants de l'Unité de Recherche pour leur soutien.

J'adresse aussi mes remerciements aux enseignants qui ont accepté de collaborer avec moi pour me permettre de récolter mes données lorsque j'en ai eu besoin. Un merci en particulier à Madame Ravet et à Monsieur Matroule.

Je pense aussi évidemment à mes proches, à ma famille et mes amis, qui m'auront depuis le début motivé, soutenu et guidé lorsque j'en ressentais le besoin. Merci à vous tous.

Mes remerciements vont également vers toutes les personnes qui m'auront aidé de près ou de loin dans la finalisation de ce mémoire.

Résumé

Le vivant est un concept difficile à définir. Pourtant, cette notion centrale en biologie est présente dans tous les programmes d'études en secondaire ce qui lui donne une certaine importance. Plusieurs études ont pu mettre en évidence les difficultés qu'avaient des étudiants dans la compréhension de certaines notions à l'échelle microscopique. La définition du vivant à cette échelle pose également plus de problèmes chez les apprenants. La présente étude a tenté de relever les difficultés qu'avaient les étudiants à définir la vie. La littérature a d'abord été étudiée et exposée afin d'avoir un tour d'horizon sur le sujet. Une étude inspirée de Witzig *et al.* (2013) a ensuite été menée directement sur des étudiants en cours préparatoires et de premier cycle universitaire afin d'avoir leurs conceptions sur le vivant. L'influence d'un cours sur le changement potentiel des conceptions des étudiants a aussi été étudiée à travers ce travail. L'ensemble a été analysé en vue d'obtenir plus d'éclaircissements sur les difficultés rencontrées et sur leurs impacts potentiels dans des choix de santé publique. Un taux de 57% d'étudiants en cours préparatoires en sciences a défini l'ADN comme étant vivant. Ce pourcentage est de 31% pour les étudiants de bloc 1 en biologie et de 60% pour les étudiants littéraires. Lors des post-tests réalisés pour les étudiants de première année, le changement conceptuel n'a pas été significatif, les étudiants ont de fortes tendances à garder leurs préconceptions, même lorsque ces conceptions sont erronées. Les difficultés sont multiples et proviennent de nombreux facteurs. La section, l'échelle microscopique et les préconceptions semblent avoir un rôle important dans les conceptions erronées des étudiants.

Abstract

Life is a difficult concept to define. However, this central concept in biology is present in all secondary school curricula, which gives it a certain importance. Several studies have been able to highlight the difficulties that students had in understanding certain notions on a microscopic scale. The definition of life on this scale also poses more problems for learners. This study attempted to identify the difficulties that students had in defining life. The literature was first studied and exposed in order to have an overview on the subject. A study inspired by Witzig *et al.* (2013) was then conducted directly on students in preparatory and undergraduate courses in order to have their conceptions of life. The influence of a course on the potential change of the conceptions of the students was also studied through this work. The whole study was analyzed to obtain more clarification on the difficulties encountered and on their potential impact on public health choices. A 57% rate of students in preparatory science courses defined DNA as living. This percentage is 31% for 1st bachelor's degree in biology and 60% for literature students. During the post-tests for the first year students, the conceptual change was not significant, the students have strong tendencies to keep their preconceptions, even when these conceptions are incorrect. There are many difficulties and it comes from many factors. Student's pathway, microscopic scale and preconceptions seem to have an important role in student misconceptions.

Table des matières

Introduction.....	6
<i>Le vivant, une notion présente dans tous les programmes d'études du secondaire en sciences.....</i>	6
<i>Le vivant au sein des programmes d'études</i>	6
<i>Des compétences à atteindre définies par les référentiels</i>	7
La définition du vivant	8
<i>Généralités</i>	8
<i>La définition du vivant selon les livres de référence</i>	9
<i>La définition du vivant selon les manuels de l'enseignement secondaire.....</i>	11
Les approches réductionnistes et systémiques du vivant.....	12
<i>L'approche réductionniste du vivant</i>	12
<i>L'approche systémique du vivant.....</i>	12
Le statut épistémique actuel du vivant	13
La notion de vivant selon l'échelle microscopique chez les étudiants	15
<i>L'exemple de l'ADN.....</i>	15
Les organismes microscopiques.....	16
<i>Les bactéries.....</i>	16
<i>Les virus</i>	17
Résumé et perspectives	18
Matériel et méthodes.....	19
Résultats.....	23
<i>Les critères donnés au vivant selon différentes ressources.....</i>	23
<i>Première phase d'étude (août 2021).....</i>	24
<i>Seconde phase d'étude (novembre 2021 - mai 2022)</i>	30
<i>Section biologie</i>	30
<i>Section littéraire</i>	35
<i>Les interviews</i>	36
Discussion.....	38
Conclusion.....	48
Annexes	50
Bibliographie.....	64

Introduction

La biologie est un terme dont l'origine provient du grec *bios* signifiant la vie et *logos* qui désigne la science. Autrement dit, la biologie est la science qui étudie le vivant. La vie peut se manifester sous de nombreuses formes et suivant des échelles différentes allant du microscopique comme pour des bactéries unicellulaires jusqu'au macroscopique pour des organismes tels que les mammifères (Cundy et Shin, 2017). Bien qu'il existe un consortium sur la catégorisation de nombreuses structures en tant que vivantes ou non-vivantes, ce concept de vivant est sujet à débat au sein de la communauté scientifique. En effet, de nombreux biologistes ne sont pas d'accord sur la manière de définir la vie (El-Hani, 2008 ; Cain *et al.*, 2006 ; Campbell et Reece, 2004). Aussi, ce concept de vivant présent dans tous les programmes d'études du secondaire en sciences génère plus de difficultés chez les étudiants à être défini suivant l'échelle microscopique avec le cas de l'ADN comme le montre l'étude de Witzig et son équipe (2013). Pourtant, ce concept utilisé dans le domaine scientifique doit répondre aux règles de la science, c'est-à-dire être précis, clair et pouvoir être interprété toujours dans un même sens (Willett, 1996). Ce travail s'intéresse à ces difficultés que rencontrent les étudiants pour définir le vivant.

Le vivant, une notion présente dans tous les programmes d'études du secondaire en sciences

Le vivant au sein des programmes d'études

Les référentiels définis en Fédération Wallonie - Bruxelles en sciences pour le secondaire sont établis par des représentants de Pouvoirs Organisateurs, des enseignants, des experts académiques et des membres du service d'Inspection. Les Pouvoirs Organisateurs font parties des organes de représentation comme le sont le Secrétariat Général de l'Enseignement Catholique (SeGEC), le Conseil des Pouvoirs organisateurs de l'Enseignement Officiel Neutre Subventionné (CPEONS) ou la Fédération des Établissements Libres Subventionnés Indépendants (FELSI). Les référentiels énoncent une série de compétences qui doivent être acquises par les élèves au terme de leurs apprentissages. Cet ensemble de compétences est identique pour tous les établissements d'enseignement au sein de la Fédération Wallonie - Bruxelles. Ce sont sur base de ces référentiels que sont établis les programmes. Les programmes désignent les contenus d'apprentissage à enseigner selon l'année d'études des élèves. La notion de vivant au sein de ces programmes est présente pour toutes les années d'enseignement du secondaire dans les cours de sciences en biologie. Ce concept présente une

certaine importance vu son omniprésence dans les disciplines à apprendre. (Fédération Wallonie - Bruxelles, 2020).

Des compétences à atteindre définies par les référentiels

Suivant les disciplines en sciences de base et en sciences générales pour les humanités générales et en formation scientifique pour les humanités techniques et professionnelles, les référentiels indiquent comme objectif principal un comportement plus responsable des élèves envers l'environnement et les êtres vivants qui les entourent via le développement de connaissances en sciences. L'objectif est de former un futur citoyen responsable qui pourra agir dans la société en préservant l'environnement dans lequel il vit. Cet apprentissage passe, au troisième degré, en sciences générales comme en sciences de base, par une étude de la crise de la biodiversité actuelle, ses causes et ses conséquences. À travers ce point, l'élève devra comprendre l'impact négatif d'une partie des activités humaines sur la biodiversité et de proposer des pistes de réflexion pour y remédier. Autrement dit, c'est de comprendre l'importance des autres formes de vie que celle de l'Homme et d'agir pour les protéger (Fédération Wallonie - Bruxelles, 2020). Le concept de *One Health* suit la même optique. Ce concept créé au début des années 2000 lie la santé humaine à celle des animaux d'élevage ou sauvage et à l'environnement dans lequel ils évoluent (Destoumieux - Garzón *et al.*, 2018). *One Health* met en avant les bénéfices qu'apportent ces liens partagés. Finalement, l'ensemble de ces relations amènent à une bonne santé générale de l'ensemble des organismes sur Terre. L'objectif plus spécifique de ce mouvement est d'être mieux préparé à de potentielles nouvelles maladies émergentes où un risque de pandémie est possible à l'avenir. Des contacts entre toutes les personnes qui soutiennent l'initiative sont régulièrement réalisés afin d'être à jour sur l'actualité (Lerner et Berg, 2015). La santé publique est soutenue par cette approche. Les acteurs de ce mouvement souhaitent également qu'une prise de conscience sur le sujet soit réalisée via des moyens éducatifs dans les écoles afin de mieux comprendre l'importance de l'écologie environnementale (Bolon *et al.*, 2018). Fortin (2018) soulignait un objectif similaire soutenu par les programmes d'enseignement en France. L'idée plus globale est que l'élève se détache d'une vision anthropocentrique où l'humain est la plus importante des formes de vie et puisse se rapprocher davantage d'une vision biocentrique. Le biocentrisme défend l'idée que tous les êtres vivants autres que l'Homme possèdent une valeur intrinsèque et qu'il est nécessaire de les protéger. Les élèves ont une mauvaise compréhension du concept de vivant, notamment dans les petites échelles. Dans un contexte où la crise de la biodiversité est une problématique actuelle majeure, mieux comprendre la notion de vivant à toutes les échelles

semble être essentiel pour l'ensemble des élèves, futurs acteurs de demain, afin de pouvoir agir de la meilleure manière possible. Pour y parvenir, une meilleure compréhension de cette notion peut se faire suivant la manière de la définir (Fortin, 2018 ; Sterner *et al.*, 2019 ; Fédération Wallonie - Bruxelles, 2020).

La définition du vivant

Généralités

Le concept du vivant semble clair à priori. Pourtant, Aristote (384 - 322 av. J.-C.) déjà exposait les difficultés rencontrées pour définir la vie (Canguilhem, 1966). À la fin du XX^e siècle, un physicien et chimiste nommé Ilya Prigogine a révolutionné la biologie en amenant une nouvelle approche du vivant. Selon lui, le vivant est fait de systèmes dissipatifs, c'est-à-dire des systèmes ouverts thermodynamiquement qui parviennent à garder leur structure organisationnelle en utilisant l'énergie et de la matière issues de l'environnement. Autrement dit, une cellule vivante est en permanence traversée par des flux d'énergie qui la garde en état de non-équilibre avec une augmentation de l'entropie du système (Tournier, 2021). Cependant, tous les scientifiques ne partagent pas cet avis. Aujourd'hui encore, il n'y a pas de consensus sur la définition d'un être vivant, les critères de définition varient selon les auteurs et sont sources de nombreux débats (El-Hani, 2008 ; Cain *et al.*, 2006 ; Campbell et Reece, 2004). Pourtant en science, un concept doit répondre à des règles ; être clair, précis et pouvoir être interprété toujours d'une même façon (Willett, 1996). Une des hypothèses avancées par une étude réalisée en 2008 par El-Hani au Brésil pour tenter d'expliquer ce manque de clarté du vivant serait la mauvaise approche de ce concept d'un point de vue méthodologique par les manuels scolaires utilisés dans les écoles de ce pays, tous niveaux confondus. En effet, El-Hani estime qu'il serait pertinent de remplacer les listes des critères du vivant données aux élèves par des approches théoriques du concept de la vie avec différents exemples illustratifs. Selon lui, cette hypothèse pourrait être avancée pour de nombreux autres pays. Un nombre important de biologistes estime qu'il serait difficile de trouver une définition simple et claire au vivant, la vie étant très diversifiée et complexe. Pourtant, la notion de vivant est un concept central en biologie, il est donc important d'y passer du temps durant les apprentissages qui y sont liés suivant la meilleure approche. L'erreur faite selon El-Hani serait l'approche essentialiste souvent utilisée en science pour tenter de définir ce concept. Cette approche tente d'attribuer des caractéristiques essentielles partagées par tous les êtres vivants. En effet, cette approche est majoritairement suggérée dans les manuels scolaires comme c'est le cas du Campbell et du Raven. L'étude dirigée par El-Hani avance l'hypothèse selon laquelle

l'approche essentialiste est contre-productive et ne permet donc pas une bonne compréhension du vivant. D'autres approches pourraient être développées comme proposer des explications sur la coexistence d'un ensemble de caractéristiques des organismes vivants (Bedau, 1996 ; Caravita et Falchetti, 2005 ; El-Hani, 2008).

Il existe deux branches principales qui tentent d'apporter une définition plus claire du domaine vivant, ces deux branches sont la science et la philosophie. La science tente de donner un ensemble de critères partagés par l'ensemble des organismes vivants. La philosophie s'interroge plus sur les concepts liés au vivant, sur le vocabulaire employé. Par exemple, est-il correct de parler d'entité vivante ou d'entité matérielle ? Le vivant peut-il être considéré comme une entité matérielle à laquelle se rajoute d'autres propriétés ? Selon les philosophes, les capacités cognitives de l'Homme sont parfois trompées, ce qui peut être source d'erreurs dans les conclusions avancées. Ces biais peuvent aussi exister lors des essais pour définir la vie (Lechermeier, 2015).

Afin de tenter de relever les différents critères de la vie les plus cités, plusieurs manuels de référence reconnus par la littérature scientifique seront consultés, ainsi que différents manuels employés en Fédération Wallonie - Bruxelles dans le secondaire et des sites web plus vulgarisés afin de comparer les critères du vivant qui sont avancés. Trois ouvrages de référence datant du début des années 2000 ont d'abord été consultés, un autre plus récent a ensuite été exploré (2014). Les autres ressources parcourues sont toutes plus récentes que 2014.

La définition du vivant selon les livres de référence

Selon Cain *et al.* (2006) dans *Découvrir la biologie*, le premier paragraphe illustrant le concept du vivant souligne déjà des désaccords entre les scientifiques sur ce qui est vivant ou non. L'auteur annonce clairement la problématique dans cette partie introductive : « *Qu'est-ce que la vie ? Apparemment simple, cette question est en fait l'une des plus complexes [...]. Les scientifiques ainsi que les philosophes s'accordent sur le fait qu'une définition de la vie qui soit simple et exacte constitue un défi* ». L'exemple des nanobes est illustré, ils seraient les plus petits organismes du monde vivant avec une taille de l'ordre du nanomètre. Cette théorie est affirmée suivant certaines propriétés de ces microorganismes comme la présence de matériel génétique sous forme d'ADN et la capacité de passer de formes isolées microscopiques à l'état de colonies macroscopiques. Certains scientifiques ne partagent cependant pas cet avis et

estiment que ces nanobes sont non-vivants. Un premier critère de la vie qu'énonce cet ouvrage est la présence d'ADN dans l'organisme, la présence d'un matériel génétique. Ensuite, les différents critères du vivant sont avancés. Selon Cain *et al.* (2006), des caractéristiques partagées définissent la vie, à savoir être composé de cellules, la capacité de se reproduire, de grandir et de se développer, d'extraire l'énergie dans l'environnement, d'être capable de sentir des stimuli en provenance du milieu extérieur et d'y réagir, d'être caractérisé par une organisation complexe et d'être évolutifs. Les virus sont quant à eux désignés par l'auteur comme étant à la frontière entre le vivant et le non-vivant. Le fait de ne pas posséder toutes les caractéristiques du vivant les place dans une position incertaine.

Campbell et Reece (2004) énoncent dans leur manuel de référence les critères de la vie suivants ; tout d'abord, un être vivant est caractérisé par une grande organisation. Le deuxième critère est celui de la possession de cellules, c'est la base fonctionnelle et structurale du vivant. Le troisième critère est celui de la présence d'ADN, matériel génétique héréditaire présent chez tout organisme vivant. Un autre critère exposé du vivant est celui du lien entre la structure et la fonction suivant le niveau d'organisation. Les autres critères caractéristiques de la vie sont les interactions constantes entre l'environnement et les organismes vivants en tant que systèmes ouverts ; un équilibre dynamique assuré à l'intérieur des organismes grâce aux mécanismes régulationnels ; et enfin l'évolution caractéristique de tous les êtres vivants.

Lecointre et Le Guyader (2001) mentionnent trois critères du vivant. Tout d'abord, le vivant est composé de cellules, la cellule étant la base structurale de la vie. Ensuite, une seconde caractéristique est la capacité de répliquer le matériel génétique (l'ADN) de manière autonome ce qui permet de transmettre l'information au cours de l'espace - temps. Enfin, le dernier critère définit la capacité de générer, à partir de cette information génétique, les protéines constitutives et enzymatiques d'un être vivant. L'auteur souligne ensuite l'incapacité des virus à pouvoir se reproduire par eux-mêmes et les classe donc comme non-vivants.

Raven *et al.* (2014) mentionnent que : « *La vie ne se plie pas à une définition simple* ». L'auteur souligne qu'il est cependant possible de donner sept caractéristiques communes aux vivants. Les critères qui définissent le vivant ici sont : l'organisation cellulaire, une complexité ordonnée, une sensibilité à l'environnement, la croissance, développement et reproduction, l'utilisation d'énergie, l'homéostasie, et l'adaptation évolutive. Cet ouvrage annonce les mêmes critères que Campbell et Reece (2004).

La définition du vivant selon les manuels de l'enseignement secondaire

L'*Essentia* de Buschen *et al.* (2017) est un manuel destiné aux élèves de 4e secondaires en sciences de base. Ici aussi, le manuel annonce la problématique : « *La définition du vivant ne fait pas l'unanimité dans le monde scientifique.* » Les critères donnés sont les suivants : une capacité de métabolisme, la croissance et le développement, la motricité (externe et/ou interne, la reproduction, l'adaptation à son environnement et la présence d'une organisation cellulaire. L'auteur définit les virus comme non-vivants du fait de qu'ils ne possèdent pas d'organisation cellulaire.

Ensuite, le manuel *Neurone* réalisé pour les élèves de première secondaire a été parcouru. Ici, l'auteur annonce trois critères que partagent les organismes vivants. Ces derniers sont le fait de se nourrir, de respirer, de pouvoir percevoir le monde extérieur et d'y réagir (Charneux *et al.*, 2016).

Le troisième manuel consulté à destination des 6e secondaires en sciences de base est intitulé *Biologie*. Deux critères essentiels que partagent tous les êtres vivants sont avancés ici, à savoir une certaine unité en termes de structure cellulaire et moléculaire, ainsi que la présence d'ADN dont la structure est la même chez tous les vivants (Gilliquet *et al.*, 2012).

Enfin, ce sont trois sites récents vulgarisés qui ont été parcourus. Le premier site *Khan Academy* est géré par une association qui soutient un enseignement de qualité pour tout le monde et partout sur Terre. Ce site cite sept critères à la vie. Ces derniers sont : l'organisation cellulaire, le métabolisme, l'homéostasie, la croissance, la reproduction, la réponse aux stimuli et l'évolution (Khan Academy, 2021). Le second site consulté est *Science et Vie*, un magazine mensuel de vulgarisation scientifique. Ce magazine annonce les critères suivants au vivant : pouvoir échanger de la matière et de l'énergie avec son environnement, la capacité de se reproduire ainsi que l'évolution par sélection naturelle (Science et Vie, 2018). Enfin, le dernier site *Alloprof* dont les ressources existent depuis 1996 renforce l'aide scolaire par des moyens numériques et des services professionnels. Ce site avance six critères du vivant qui sont : l'organisation cellulaire, les échanges avec le milieu, la reproduction, la croissance, la réaction aux stimuli et l'adaptation (Alloprof, 2021).

La différence dans les listes de critères donnés au vivant complique la définition de ce concept. D'autres points comme les différentes approches qui considèrent le vivant sont

également des éléments qui complexifient la notion (Gallezot, 2018).

Les approches réductionnistes et systémiques du vivant

L'approche réductionniste du vivant

La notion de vivant peut être expliquée suivant différentes approches. Suivant celle sélectionnée, le vivant sera défini par des caractéristiques qui peuvent varier d'une conception à l'autre. Le réductionnisme est l'une des approches existantes qui tente d'expliquer le fonctionnement du vivant. Le réductionnisme consiste à réduire une notion en une autre notion qui lui est équivalente (Mossio et Umerez, 2014). Selon cette vision, un organisme vivant est comparable dans son ensemble à une machine. Le Canard de Vaucanson est un exemple qui illustre cette approche. Son inventeur Vaucanson J. (1709 - 1782) s'est basé sur l'une des premières approches réductionnistes développée par Descartes (1596 - 1650) qui estimait qu'il était possible de réduire totalement le comportement d'un animal à un objet mécanique. Vaucanson a donc conçu un canard mécanique physiquement proche du vrai animal dans sa structure et capable de digestion mécanique (Triclot, 2004). Cet appareil qu'est l'organisme est programmé pour la construction de ses matériaux que sont ici les protéines, et également pour le contrôle de cette fabrication via les gènes régulateurs. L'idée est de comprendre le vivant à travers les macromolécules qui le composent. L'être vivant est vu comme un corps obéissant uniquement aux lois physiques et chimiques. Suivant cette optique, une action engendre une réaction au sein du corps vivant. Il est possible qu'un modèle réductionniste présente des conséquences ontologiques. L'ontologie désigne la considération de l'être en tant qu'être et non pas en tant qu'une partie de cet être. Lorsqu'un modèle réductionniste n'a pas de conséquences ontologiques, c'est-à-dire lorsque la réduction se restreint aux théories ou aux lois sans aller modifier les structures de base ainsi que leurs propriétés essentielles, le modèle est plus facilement accepté. Dans cette approche où l'être vivant est réduit à une machine qui obéit à des lois, les conséquences ontologiques existantes ont suscité et génèrent encore des réactions de mécontentements dans les différentes communautés (Stevens, 2000 ; Le Gall, 2019).

L'approche systémique du vivant

L'approche systémique aborde le vivant d'une autre manière. L'idée ici n'est plus de s'intéresser à un composant individuel d'un être vivant comme le fait l'approche réductionniste, mais plutôt de se concentrer sur l'ensemble de ses structures liées les unes aux autres par des interactions. La biologie systémique, également dite intégrative décrit les

organismes comme un ensemble de systèmes suivant une organisation multiéchelles (Lesne, 2009). Un système biologique est un ensemble d'éléments liés les uns aux autres par des interactions formant un tout. A titre d'exemple, au niveau moléculaire, l'ARN et les protéines sont des composants qui ne sont pas indépendants dans les cellules, des interactions sont nécessaires pour le bon déroulement des activités cellulaires. Ces interactions sont à la base du concept de la biologie intégrative. Finalement, l'ensemble des molécules constituant la cellule d'un organe constitue un système et toutes les cellules formant cet organe forment elles aussi un système. Cette complexité peut parfois être difficile à intégrer suivant l'approche systémique. La biologie des systèmes présente des limites ce qui génère, pour cette vision aussi, des réactions d'opposition. La taille d'un système biologique est une des limites rencontrées, il n'existe en effet pas de taille spécifique et pas de limites théoriques pour définir un système, ce qui peut engendrer des confusions. Cette approche systémique a révolutionné la biologie, de nombreux domaines en sciences tentent de répondre à des questions scientifiques via la biologie intégrative. Cette optique semble être porteuse d'espoir afin de mieux comprendre le vivant à l'avenir (Carvunis *et al.*, 2009).

Ces deux approches distinctes tentent d'éclairer la notion de vivant en science. La complexité présente au sein des êtres vivants, les différentes échelles d'organisation et la place de l'organisme dans un environnement spécifique soulève des questions quant à la pertinence du réductionnisme en biologie. L'approche systémique semble être plus favorisée suivant les connaissances actuelles dans les différents domaines de la biologie. Les défenseurs de ces théories débattent toujours actuellement pour tenter de justifier la meilleure approche (Gallezot, 2018). Dans le cadre du statut épistémologique du vivant, d'autres manières d'aborder le concept existent et sont aussi sujettes à débats (Fortin, 2018).

Le statut épistémologique actuel du vivant

Le statut épistémologique du vivant désigne la nature des liens que partage l'humain avec les autres formes de vie. Le vivant est un thème qui se trouve dans les programmes de sciences, ce concept doit être enseigné à partir des classes de maternelles et jusqu'en fin de secondaire. Les curriculums en France sont générés à partir des programmes d'enseignement et désignent les compétences attendues suivant l'apprentissage des savoirs aux élèves. Ce sont des outils de pilotage pour ces programmes et ils sont valables aussi pour d'autres disciplines. Le but de ces curriculums est de permettre aux programmes de répondre à une fonction éducative et sociétale, comme le font les référentiels en Belgique (Gallezot, 2018 ; Fédération

Wallonie - Bruxelles, 2020). Depuis quelques années, des questionnements ont émergé quant à la considération de la relation au vivant dans les curriculums français en sciences (Dell'Angelo-Sauvage *et al.*, 2016). Il existe en effet deux grandes visions différentes dans la manière de considérer le vivant. Tout d'abord, la vision biocentrique désigne le vivant comme une unique communauté biologique où chaque individu possède une valeur intrinsèque. Cette optique soutient la protection des animaux autres que l'Homme contre des actions visant à en tirer profit. L'autre vision est anthropocentrique où toute forme de vie non humaine n'est pas caractérisée par une valeur intrinsèque justifiant ainsi les activités sur ces organismes. Une étude menée en France par Fortin (2018) s'est concentrée sur le statut épistémique du vivant dans les curriculums français plus récents. Fortin a tenté suivant l'approche biocentrique dite inclusive et l'approche anthropocentrique dite séparatiste de discuter du statut épistémique du vivant défendu par les curriculums. L'objectif est d'analyser ce statut à travers les disciplines enseignées désignées par ces curriculums pour l'enseignement obligatoire. Fortin conclut qu'un des objectifs des curriculums plus actuels est de permettre aux élèves de se défaire d'une vision anthropocentrique au profit du développement de leur esprit critique. A travers cette pensée, l'élève devra être capable d'agir via ses comportements de manière plus adéquate sur l'environnement et les êtres vivants qui l'entourent. Cet objectif suit le concept de *One Health* qui montre l'importance de l'écologie environnementale et des bienfaits qu'elle peut avoir sur la santé humaine. White *et al.* (2013) ont par exemple montré qu'en Angleterre en milieu urbain, les personnes vivant à proximité d'espaces verts vivent moins stressées que les personnes vivant là où la présence de végétaux est fortement réduite. En Australie, une autre étude a mis en évidence une corrélation entre une meilleure santé des personnes avec une richesse spécifique d'oiseaux plus importante (Luck *et al.*, 2011). Finalement, penser autrement que par anthropocentrisme permettrait de décentrer la place de l'Homme et d'apporter d'autres perspectives dans la relation que partage l'humain avec les autres formes de vie (Bolon *et al.*, 2018 ; Fortin, 2018).

Ces différentes visions de considération complexifient davantage le concept de vivant. Cette notion semble également poser plus de problèmes de compréhension suivant des petites échelles où sont retrouvés les structures microscopiques et les microorganismes (Fortin, 2018 ; Gallezot, 2018). Une étude menée aux Etats-Unis en 2013 a pu mettre en évidence des conceptions erronées sur l'ADN pour des étudiants de première année qui pour près de la moitié considéraient cette structure comme vivante (Witzig *et al.*, 2013). L'ADN désigne l'acide désoxyribonucléique, une macromolécule biologique universelle au sein du monde

vivant servant de support pour l'information génétique et structurée en deux brins antiparallèles. Au sein de cette structure sont présentes quatre bases azotées ; la thymine, l'adénine, la guanine et la cytosine ainsi que du désoxyribose et des groupements phosphate (Gregory *et al.*, 2006).

La notion de vivant selon l'échelle microscopique chez les étudiants

L'exemple de l'ADN

Le concept du vivant lié à une structure microscopique n'est pas toujours bien compris lors de l'enseignement d'une discipline scientifique. Une étude menée par Witzig *et al.* en 2013 aux Etats-Unis s'est concentrée sur les conceptions de l'ADN qu'avaient des étudiants de première année dans l'enseignement supérieur dans le cadre d'un cours de biochimie générale. Ce cours était réservé à une centaine d'étudiants non spécialisés dans ce domaine mais provenant de branches diverses comme l'économie agricole ou la gestion hôtelière. L'étude permettait également d'évaluer l'influence d'un enseignement ciblé sur ces conceptions. Suivant cet enseignement, le responsable du cours n'a pas utilisé de livres de référence mais a préféré l'utilisation de certains cours en ligne. Aussi, des séances de débats ont été organisées durant le semestre afin d'avoir une certaine interactivité entre les étudiants et l'enseignant. Des travaux individuels ont également été demandés ainsi que certaines séances de travaux pratiques réalisées en présentiel. L'extraction de l'ADN de bananes a été l'expérience de base menée en classe. Des pré-tests et des post-tests ont été réalisés avant et après l'expérience d'extraction afin de voir les conceptions erronées sur l'ADN qu'avaient ces jeunes de première génération de l'enseignement supérieur. La question qui leur était posée est la suivante : « *L'ADN est un produit chimique et n'est pas vivant. Vrai ou faux, expliquez votre réponse* ». Les pré-tests ont montré que 63% des étudiants avaient une conception erronée en considérant l'ADN comme vivant. Ce chiffre est descendu à 40% pour les résultats des post-tests. La principale confusion des étudiants était de considérer l'ADN comme vivant car cette molécule est présente dans toutes les formes vivantes. Hors, la plus petite entité vivante est la cellule, l'ADN en est un composé intracellulaire (Witzig *et al.*, 2013).

L'objectif des chercheurs qui ont dirigé l'étude était d'arriver à un changement conceptuel chez ces étudiants. Ce changement conceptuel définit la manière d'apprendre en sciences par les apprenants avec l'objectif d'arriver à faire changer les conceptions erronées et à les remplacer par des conceptions plus admissibles (Smith *et al.*, 1993). Les résultats de l'étude suggèrent que les conceptions erronées de ces étudiants ont persisté pour la plupart malgré

l'enseignement spécifique qui leur a été donné (Witzig *et al.*, 2013).

D'autres études comme celle menée par Drane *et al.* en 2009 aux Etats-Unis ont mis en évidence les difficultés que rencontrent les étudiants dans la compréhension de certains concepts pour des échelles extrêmement petites de l'ordre du nanomètre. Suivant ces problèmes d'échelle rencontrés, certains étudiants présentent des confusions au niveau de leurs connaissances liées aux concepts étudiés (Castellini *et al.*, 2007). L'étude menée par Simonneaux en 2000 révèle également la difficulté rencontrée de certains étudiants de France, d'Allemagne et des Pays-Bas face à l'échelle cellulaire. Les résultats de l'étude suggèrent que les jeunes n'arrivent pas à bien distinguer les différences de taille entre des structures microscopiques. Il ressort qu'une majorité des étudiants sondés mettent les atomes dans le même ordre de grandeur que les virus (Simonneaux, 2000). Ces différentes difficultés rencontrées par les étudiants et les élèves amènent à une moins bonne compréhension du concept de vie (Gallezot, 2018).

L'échelle microscopique semble poser plus de problèmes dans la compréhension de certains concepts ainsi que dans la représentation de certaines structures suivant la bonne échelle chez les étudiants. Cette échelle microscopique comprend différents organismes vivants et des structures qui ne sont pas visibles à l'oeil nu et où un microscope est nécessaire pour visualiser ces éléments microscopiques (Cottinet, 2013 ; Kin et Vabret, 2016).

Les organismes microscopiques

En biologie, le macroscopique fait référence aux objets qui peuvent être observables à l'oeil nu, c'est-à-dire de dimensions supérieures à 0,1 mm. Toutes les structures de taille inférieure font parties du milieu microscopique. Les éléments microscopiques invisibles pour l'oeil humain doivent être disposés sous un microscope pour être observés (Weinan, 2011). Plus globalement, la microscopie désigne les différentes techniques d'imagerie permettant de visualiser ces petites structures de taille inférieure au dixième de millimètre. Par ces techniques, il est actuellement possible de distinguer des éléments jusqu'à l'atome. Ces avancées réalisées dans l'étude des objets microscopiques ont permis de révolutionner la biologie cellulaire (Moriyama *et al.*, 2008).

Les bactéries

Les bactéries font parties des microorganismes microscopiques les plus courants. Les

bactéries sont unicellulaires et possèdent une taille comprise entre 1 et 10 μm . Il existe une grande variété d'espèces connues bien que les scientifiques estiment qu'il y en aurait jusqu'à 1000 fois plus à découvrir. Ces organismes ont la capacité de se reproduire de manière asexuée en produisant des clones, l'énergie pour y parvenir est puisée dans l'environnement extérieur ce qui les qualifie d'organismes vivants (Cain *et al.*, 2006 ; Raven *et al.*, ; Tournier, 2021). Avec une structure cellulaire spécifique, les bactéries sont des procaryotes (Figure 1).

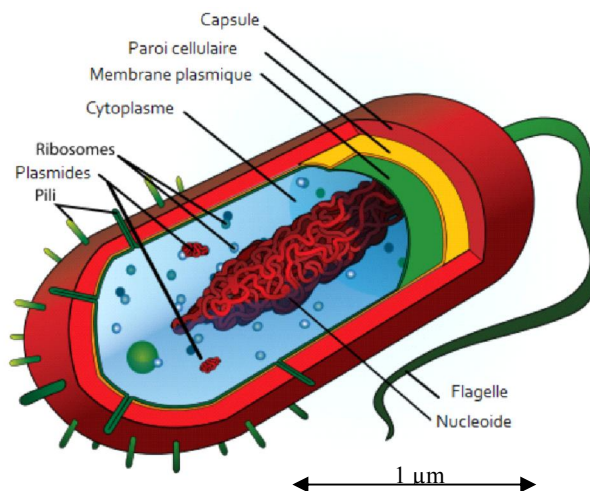


Figure 1. Schéma simplifié de la structure d'une cellule bactérienne (Cottinet, 2013).

Une bactérie est capable de se mouvoir dans son environnement, certaines possèdent des cils ou des flagelles en membrane externe qui permettent le déplacement actif de l'organisme. Il existe aussi le pilus sexuel présent chez une partie des bactéries, cet appendice permet un transfert du matériel génétique entre différents individus, ce processus est nommé la conjugaison. Les bactéries peuvent vivre à l'état individuel mais également à l'état groupé en formant des amas structurés comme les biofilms (Lansing *et al.*, 2003). La cellule bactérienne possède une structure simple délimitée par la membrane plasmique et ne contient pas de noyau. Le ou les chromosomes circulaires constitués d'ADN baignent dans le cytoplasme en formant le nucléoïde (Cottinet, 2013).

Les virus

Parmi les autres microorganismes les plus courants également se trouvent les virus qui sont pour les scientifiques plus difficiles à classer au sein du monde vivant (Jankowski, 2020). Ces microorganismes sont présents partout, dans tous les milieux. Leur taille varie de 10 à 400 nm pour les plus grands. Les virus produisent des particules virales appelées virions qui possèdent le matériel génétique (ARN ou ADN) protégé dans une structure protéique nommée capsid. Il existe une grande diversité de formes et de structures chez ces microorganismes. Le SARS-

CoV-2 a été découvert en 2019 à Wuhan en Chine et a déclenché une pandémie mondiale perturbant le quotidien de l'être humain. Ce virus faisant partie des coronavirus de type 2 génère chez les malades un syndrome respiratoire aigu, nommé la Covid-19 (Chan et Zhan, 2022). Ce type de virus est composé d'un ARN simple brin (Figure 2).

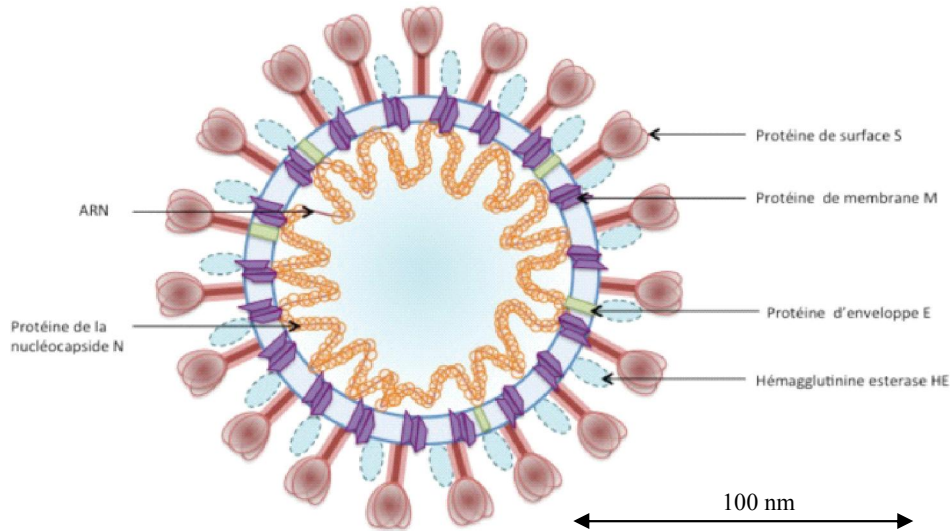


Figure 2. Schéma structurel d'un coronavirus (Kin et Vabret, 2016).

Les virus sont définis comme étant des parasites intracellulaires. Ils peuvent en effet infecter tous les organismes qui existent (procaryotes, eucaryotes et archées) et même s'attaquer à d'autres virus. Ils ne peuvent cependant pas se répliquer de manière indépendante (Nichol *et al.*, 2005 ; Hulo *et al.*, 2011). Les virus utilisent la machinerie de réplication de leur hôte afin de produire leurs propres molécules biologiques. Une fois la cellule de l'hôte infectée, le génome viral devient actif ce qui permet au virus de se répliquer (Thompson *et al.*, 2011). A l'heure actuelle, les scientifiques ne s'accordent pas pour catégoriser les virus en tant que vivants ou non-vivants. Pour certains chercheurs, ce ne sont que des particules virales qui sont dépendantes d'une cellule hôte pour se répliquer ce qui les classe parmi les non-vivants. Pour d'autres, le fait d'être de nature organique et de posséder un matériel génétique composé d'acides nucléiques les place au sein des vivants (Cain *et al.*, 2006 ; Jankowski, 2020). Le manque de clarté autour de la place des virus au sein des vivants a également eu un impact lors de la pandémie liée à la Covid-19. En matière de santé publique, la vaccination qui s'est ensuite mise en place a généré de vives réactions au sein de la population mondiale avec de nombreux obstacles. L'innocuité des vaccins et son intérêt ont été des sources de refus pour une part de la population à se faire vacciner (Ward *et al.*, 2022).

Résumé et perspectives

La notion de vivant est un concept fondamental en biologie retrouvée dans les référentiels de l'enseignement général, technique et professionnel en secondaire. Le vivant est cependant complexe à définir, des critères de définition sont employés afin de tenter de définir cette notion. Les auteurs attribuent des listes différentes de critères ce qui amène à l'hétérogénéité des caractéristiques des êtres vivants. Aussi, les approches réductionnistes et systémiques du vivant complexifient la définition. À cela s'ajoutent les visions biocentriques et anthropocentriques qui influencent la manière de considérer les êtres vivants. Tous ces aspects rendent difficile la bonne compréhension du concept. Il a été montré que la notion était mal comprise chez les étudiants et plus spécifiquement suivant l'échelle microscopique. Suivant les objectifs attendus par les référentiels et les problématiques en terme de biodiversité que le monde traverse, il serait intéressant de s'intéresser davantage à cette mauvaise compréhension du vivant.

Différentes hypothèses sont avancées pour cette étude. La première suggère que la notion de vivant liée à l'ADN et à l'ARN pose des difficultés chez les étudiants à cause de la structure microscopique de ces molécules. La seconde postule que les biologistes en bloc 1 présentent des conceptions plus correctes sur le vivant que les autres sections. La dernière suppose qu'un cours universitaire permet de faire évoluer les conceptions. Afin de vérifier les hypothèses données, la suite de ce travail introductif est basée sur l'élaboration d'un protocole expérimental afin de récolter des données via des tests, des pré-tests et des post-tests chez les étudiants universitaires des cours préparatoires et de bloc 1 de différentes sections et d'identifier les éventuelles conceptions erronées existantes et leurs impacts sur la vaccination liée à la Covid-19. Aussi, un enseignement sur l'ADN dans le cadre d'un cours de biologie générale sert de point d'attention dans cette étude. L'objectif de ce cours est d'apporter les éléments théoriques nécessaires pour une bonne compréhension de ce qu'est l'ADN chez les étudiants. Les post-tests permettront après l'enseignement de mettre en évidence un éventuel changement conceptuel chez ces étudiants sur cette molécule.

Matériel et méthodes

Tout d'abord, une première analyse est portée sur neuf ressources bibliographiques suivant douze critères afin de mettre en évidence les caractéristiques attribuées au vivant.

Ensuite, afin de vérifier si d'éventuelles conceptions erronées d'étudiants de première année sur l'ADN et l'ARN liées à la notion de vivant existent, une étude est menée à l'Université de Namur sur plusieurs groupes d'étudiants appartenant à différentes sections. A travers cette étude, l'impact de ces conceptions sur l'acceptation de la vaccination liée à la Covid-19 est également recherchée.

Une première phase exploratoire de recherche se déroule durant le mois d'août lors des cours préparatoires. Les étudiants sondés proviennent de l'enseignement secondaire avec leurs conceptions. L'étude se déroule sur 148 étudiants dans un auditoire comprenant différentes sections en sciences (biologie, chimie, vétérinaire, biomédicale, pharmacie, géographie et économie). Les sections géographie et économie ont été écartées de l'étude en raison du nombre trop faible de représentants. Lors de ces cours d'été, la notion d'ADN n'est pas vue avec ces étudiants. Pour parvenir à identifier leurs conceptions sur cette molécule, un questionnaire (*version A* - Annexe 1) comprenant six questions spécifiques et des questions de distraction leur est soumis. Le but de ces questions de distraction est d'éviter d'influencer les étudiants dans leurs réponses aux questions spécifiques. Les questions d'intérêt sont les suivantes :

- (1) La biologie se consacre à l'étude du vivant. Le monde vivant comprend une multitude de formes de vie très diversifiées sur Terre. Selon toi, parmi les différentes propositions, quelle(s) est/sont celle(s) que tu considères comme vivant ? ;
- (2) Selon toi, l'ADN est un composé chimique qui n'est pas vivant, vrai ou faux ? ;
- (3) L'ARN possède une structure semblable à celle de l'ADN. En sachant cette information, l'ARN est-elle une structure vivante selon toi ? ;
- (4) Le terme « vaccin » est né à la fin du 18^e siècle. La vaccination suscite encore aujourd'hui de nombreuses réactions au sein de la population. Quelles sont tes inquiétudes face aux vaccins aujourd'hui ? ;
- (5) La pandémie liée à la Covid-19 a bouleversé notre quotidien depuis plus d'un an. A présent, des vaccins existent pour lutter contre ce virus. Il existe des vaccins à ARN (*Pfizer*) et des vaccins à ADN (*Astrazeneca*). Dans le cas où tu considères

l'ADN/l'ARN comme structures vivantes, cela te dérange-t-il de recevoir une dose du vaccin ? ;

- (6) Concrètement, penses-tu recevoir une structure vivante étrangère dans ton organisme lorsque tu es vacciné(e) ?

Cette partie de sondage réalisé est rapide puisqu'un seul questionnaire doit être complété durant cette étape. Les étudiants ont maximum dix minutes pour y répondre.

Une deuxième phase d'étude est réalisée en novembre. Dans cette seconde étape, l'objectif est de mettre en évidence l'état des conceptions des étudiants de bloc 1 avant d'avoir suivi un cours sur le sujet et l'impact de ce même cours sur leurs conceptions. Un auditoire en section biologie (32 étudiants) ainsi qu'un auditoire en littérature (5 étudiants) sont soumis aux tests. Pour les étudiants littéraires, la participation se faisait sur base volontaire en fin d'année académique (mai). Les étudiants en biologie (17) qui ont participé au test du mois d'août lors des cours préparatoires ont été écartés de l'étude afin d'éviter un biais possible. Tout d'abord, ce sont les biologistes qui sont sondés dans un premier temps. Un seul et même questionnaire semblable au premier (*version B* - Annexe 2) préalablement réalisé est également distribué aux étudiants au début et à la fin d'un cours de biologie générale qui aborde la notion d'ADN. Les éléments qui changent par rapport au premier questionnaire sont deux nouvelles questions posées, l'une visant à savoir si l'étudiant a déjà répondu au questionnaire au mois d'août et l'autre question demande s'il est d'accord ou non d'être recontacté pour l'étude. Dans cette phase de recherche, le but est de vérifier l'état des conceptions des étudiants lors des pré-tests et de visualiser si un changement conceptuel entre les pré-tests et les post-tests se manifeste. La séquence de cours en auditoire est enregistrée afin d'être proposée ultérieurement aux sections littéraires qui seront interrogées suivant la même méthode, la notion d'ADN n'étant pas vue au sein de leur cursus universitaire. Dans cette seconde phase de recherche, un pré-test et un post-test sont réalisés et complétés pour une durée d'environ 10 minutes chacun.

Les questionnaires sont anonymisés. Cependant, les étudiants doivent répondre à quelques questions qui permettent de faire le lien entre le pré-test et le post-test afin d'identifier une éventuelle évolution de leur conception. La date de naissance des étudiants est ainsi demandée. Les réponses aux questions ouvertes sont traitées une à une et reliées ensuite à une conception plus globale parmi plusieurs idées choisies préalablement. Ces grandes

conceptions plus générales ont été définies suite à la lecture des réponses des étudiants qui ont participé au test du mois d'août.

Les analyses statistiques sont réalisées à l'aide du logiciel R. Premièrement, pour le premier groupe d'étudiants sondés durant le mois d'août, un modèle linéaire généralisé (glm) selon une distribution binomiale est appliqué et sert d'analyse pour ces premiers résultats. En effet, pour chacune des questions QCM (questions 1, 2, 3 et 6), un score de un est attribué si la réponse est correcte ou un score de zéro est donné si la réponse est fausse. Chaque réponse QCM est traitée individuellement pour les analyses statistiques. Une Anova à trois facteurs (section, sexe et nombre d'heures de sciences/semaine suivies en secondaires) est réalisée pour chacune des questions. Le niveau de sciences 1 est défini comme un niveau de sciences de base avec 3h par semaine suivies en secondaires, le niveau 2 correspond à un niveau plus fort avec au moins 6h suivies par semaine. Avec cette méthode, il est possible de mettre en évidence le ou les facteur(s) qui ont un impact significatif sur l'état des conceptions des étudiants.

Deuxièmement, l'évolution des conceptions des étudiants entre le pré-test et le post-test est évaluée à l'aide d'un test de t de Student apparié pour la section en biologie. Une fois ce test effectué, une Anova à deux facteurs (sexe et nombre d'heures de sciences/semaine suivies en secondaires) est réalisée pour l'ensemble des étudiants de cette section. Cette Anova est testée pour chacune des questions spécifiques du questionnaire suivant les réponses aux QCM. Des analyses sans test statistique sont également menées comme lors de la première phase de recherche afin de visualiser ici aussi l'état global des conceptions avant et après le cours donné chez ces étudiants. En raison du nombre trop faible de représentants en littérature, aucun test statistique n'a été mené pour cette section.

Finalement, les réponses aux questions ouvertes sont analysées plus en profondeur dans leur contenu afin de relever l'impact possible d'une mauvaise conception sur l'envie d'être vacciné contre la Covid-19. Cette dernière phase se fait par des interviews (Annexe 13) auprès de quelques étudiants (2) choisis suivant leurs réponses aux questionnaires, l'idée étant d'en choisir un qui a changé d'avis durant l'étude et l'autre qui a gardé les mêmes réponses. Les questions posées sont les suivantes :

- (1) Comment définirais-tu la vie, un organisme vivant ? ;
- (2) Pourquoi lors du pré-test avoir considéré l'ADN comme vivant / non-vivant ? ;

- (3) Pourquoi lors du post-test avoir considéré l'ADN comme vivant / non-vivant ?
Pourquoi avoir éventuellement changé d'avis ? ;
- (4) La considération du vivant / non-vivant a-t-elle de l'importance selon toi ?
Pourquoi ?

Résultats

Les critères donnés au vivant selon différentes ressources

Plusieurs ressources discutées dans l'introduction (livres de référence (fond vert), manuels de l'enseignement secondaire (fond bleu) et sites internet (fond orange)) ont été consultées afin de mettre en évidence les critères suggérés pour un être vivant. L'ensemble des critères donnés étant très varié, ils ont été intégrés au sein de critères plus globaux (Tableau 1).

Tableau 1 : Ensemble des critères avancés et réattribués à chaque ressource consultée.

	<i>Découvrir la biologie Cain et al. (2006)</i>	<i>Biologie Campbell et Reece (2004)</i>	<i>Classification phylogénétique du vivant Lecointre et Le Guyader (2001)</i>	<i>Essentia Buschen et al. (2017)</i>	<i>Neurone Charneux et al. (2016)</i>	<i>Biologie Gilliquet et al. (2012)</i>	<i>Science et Vie (2018)</i>	<i>Alloprof (2021)</i>	<i>Khan Academy (2021)</i>
Posséder de l'ADN, un matériel génétique	✓	✓	✓			✓			
Être capable de répliquer son ADN			✓						
Être capable de se reproduire	✓			✓			✓	✓	✓
Être capable de croître, se développer	✓			✓					✓
Pouvoir produire sa propre matière vivante			✓	✓			✓	✓	✓
Pouvoir extraire son énergie dans l'environnement	✓				✓			✓	
Être capable d'homéostasie		✓							✓

Pouvoir répondre aux stimuli provenant de l'extérieur	✓	✓			✓				✓
Être composé de cellules	✓	✓	✓	✓		✓			✓
Posséder une organisation complexe	✓	✓							
Être capable d'évoluer	✓	✓		✓				✓	✓
Posséder une motricité interne et/ou externe				✓				✓	

D'une ressource à l'autre, les critères donnés au vivant varient. De plus, suivant ces neuf ressources consultées, aucune ne donne les mêmes critères à la vie. Les quatre critères les plus cités sont d'abord le fait d'être composé de cellules, puis de pouvoir évoluer, d'être capable de produire sa matière vivante et de se reproduire.

Première phase d'étude (août 2021)

Lors de cette première étape exploratoire qui visait à mettre en évidence l'état des conceptions des étudiants sur la notion de vivant liée à l'ADN, un auditoire de 148 étudiants a été sondé lors des cours préparatoires du mois d'août. La répartition des étudiants entre les sections est inégale (Tableau 2).

Tableau 2 : Données globales du nombre d'étudiants par section et classées suivant plusieurs facteurs.

Section	Nombre total	Filles	Garçons	Sc. niveau 1	Sc. niveau 2
Biologie	29	16	13	2	27
Chimie	12	3	9	3	9

Vétérinaire	64	49	15	18	46
Pharmacie	30	26	4	8	22
Biomédicale	13	9	4	5	8

Le taux de réponse global pour l'ensemble de l'auditoire est repris pour chacune des questions (Q). Tout d'abord, 57% des étudiants considèrent l'ADN comme vivant (Q1). Ensuite, 45% des sondés estiment que L'ADN est un composé chimique non-vivant (Q2). Concernant la molécule d'ARN, 50% des étudiants la considèrent comme vivante (Q3). Enfin, 50% des répondants pensent recevoir une structure vivante étrangère dans leur organisme lorsqu'ils sont vaccinés contre la Covid-19. Près de 80% des étudiants qui considèrent le vaccin vivant qualifient l'ARN vivant également.

De manière générale, environ 50% des étudiants de l'auditoire en sciences ont des conceptions erronées pour la notion de vivant liée à l'ADN, à l'ARN et au vaccin contre la Covid-19.

La section et le niveau de sciences ont un impact sur le profil de réponses des étudiants. La section est significative pour la moitié des questions, il y a donc des sections qui ont tendance à mieux répondre que d'autres. Aussi, le niveau de sciences semble lui aussi avoir une influence dans le fait de bien répondre bien que ce facteur soit non-significatif mais tend à l'être (Tableau 3). En effet, les élèves en sciences de base ont tendance à montrer plus de difficultés dans la compréhension du vivant. Au niveau des sections, les chimistes et les biomédicales révèlent des conceptions plus justes en considérant davantage l'ADN comme non-vivant. Les étudiants de la section pharmacie présentent le plus de conceptions erronées.

Tableau 3 : Mise en évidence des facteurs significatifs ou proches de la significativité suivant l'Anova pour chacune des questions QCM.

Questions	Section	Sexe	Niveau - sciences
Question 1			0.078
Question 2	0.066		
Question 3	0.041		0.066
Question 6	0.022		

Les éléments significatifs (noir) et les éléments proches de la significativité (gris) sont indiqués par leur p-valeur.

Pour chacun de ces QCM, une analyse des intervalles de confiance et de comparaisons multiples pour chaque question en comparant les biologistes aux autres sections permettent de mieux décrire les tendances observées. La valeur de l'intercept informe sur la probabilité qu'un événement se produise (Annexes 3-6).

Tout d'abord, la question 1 était : « *Considères-tu l'ADN comme vivant ?* ». Les résultats obtenus suggèrent que, comparés aux biologistes, les pharmaciens se trompent pour la plupart à cette question (intercept 0.35). Les sections biomédicale (intercept 2.05) et chimie (intercept 1.34) s'en sortent le mieux de manière globale. Les étudiants de sciences générales répondent globalement mieux à cette question (intercept de 2.12 ; Annexe 3).

Pour la seconde question, la plupart des étudiants pharmaciens (intercept 0.73) et vétérinaires (intercept 0.55) considèrent que l'ADN est un composé chimique vivant. Les sections biomédicale (intercept 2.35) et chimie (intercept 2.51) présentent un taux de réponses correctes plus important. Ces résultats avancent que, comparés aux biologistes, les pharmaciens et les vétérinaires présentent davantage de conceptions erronées pour cette question. Le niveau de sciences générales ne semble pas garantir de meilleures réponses que les étudiants de sciences de base (intercept 1.13 ; Annexe 4).

Pour la question 3, le facteur *section* est significatif (Figure 3). La plupart des pharmaciens qualifient l'ARN comme vivant (intercept 0.34). La section chimie s'en sort mieux de manière globale avec le taux de bonnes réponses le plus élevé pour cette question (intercept 2.84). Le niveau de sciences fortes répond spécifiquement mieux par rapport au niveau de sciences de base (intercept 2.16 ; Annexe 5).

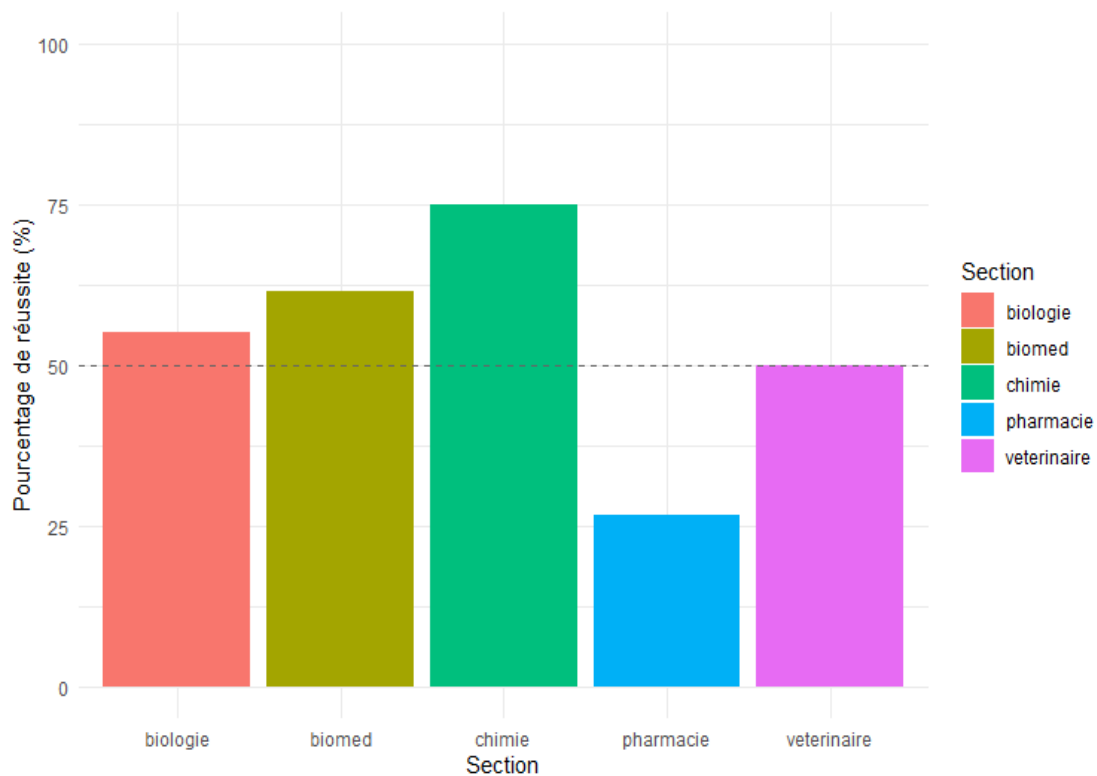


Figure 3. Graphique reprenant les taux de réussite par section pour la question 3 : « Avec une structure semblable à celle de l'ADN, considères-tu l'ARN comme vivant ? ».

Enfin, les résultats obtenus pour la question 6 montrent que plupart des pharmaciens pensent recevoir une structure vivante étrangère dans leur organisme lorsqu'ils sont vaccinés contre la Covid-19 (intercept 0.73). Le facteur *section* est également significatif pour cette question (Figure 4). Les sections chimie (intercept 3.43) et biomédicale (5.47) considèrent globalement ne pas recevoir de structures vivantes avec le vaccin. Les étudiants en sciences fortes présentent moins de conceptions erronées (intercept 1.77 ; Annexe 6).

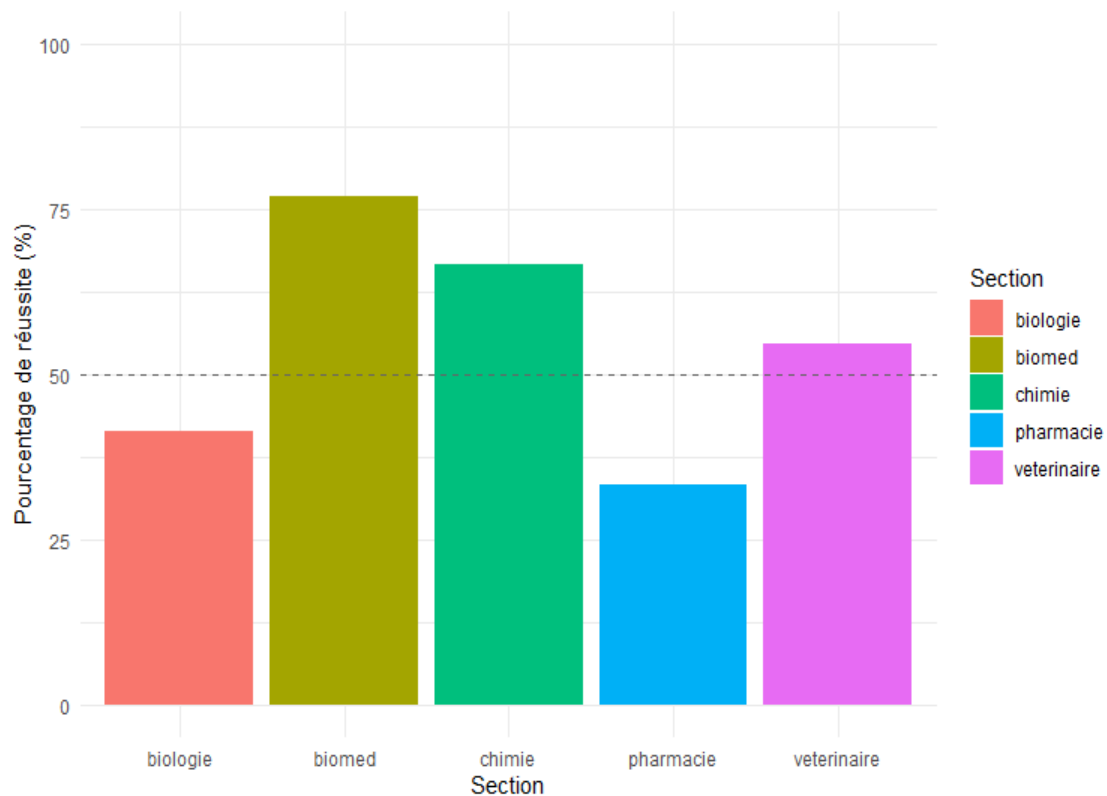


Figure 4. Graphique reprenant les taux de réussite par section pour la question 6 : « Penses-tu recevoir une structure vivante étrangère dans ton organisme lorsque tu es vacciné(e) contre la Covid-19 ? ».

Ensuite, pour les questions ouvertes (4, 5 et 6), les réponses obtenues ont été rassemblées au sein d'idées plus générales. La question 4 : « *Quelles sont tes inquiétudes face aux vaccins ?* » a généré chez les étudiants les proportions de réponses suivantes :

- 1. Efficacité sur le long terme (2%) ;
- 2. Effets secondaires (43%) ;
- 3. Les composants du vaccin (3%) ;
- 4. Manque de recherche / de recul (13%) ;
- 5. Aucune (39%).

Les résultats obtenus montrent deux tendances générales pour cette question. La majorité des étudiants de l'auditoire se divise suivant deux grandes idées de manière équivalente. Il y a 43% des étudiants qui s'inquiètent des effets secondaires suite à l'injection d'un vaccin. Pour 39% des autres étudiants interrogés, ils n'ont aucune inquiétude. Une plus faible proportion

estime qu'il y a un manque de recherche pour l'élaboration et la mise sur le marché de ce vaccin.

Pour la question 5 : « *Dans le cas où tu considères l'ADN / l'ARN comme vivants, cela te dérange-t-il de recevoir une dose du vaccin ?* », les réponses globales définies sont les suivantes :

- 1. Non, c'est nécessaire pour revivre normalement (5%) ;
- 2. Non, le vaccin est une aide importante (3%) ;
- 3. Non, j'ai confiance en la science (38%) ;
- 4. Oui, les composants du vaccin sont méconnus (8%) ;
- 5. / (Personnes qui n'ont pas répondu car demandé dans la consigne) (46%).

Les résultats indiquent qu'une majorité d'étudiants ne sont pas inquiets pour le vaccin contre la Covid-19 car 38% d'entre eux ont " *confiance en la science* " tout en considérant les molécules d'ARN et d'ADN comme vivantes. Une proportion de 8% des sondés n'est pas rassurée car elle ne fait pas confiance aux éléments retrouvés dans le vaccin. Environ la moitié des étudiants ne devait pas répondre à cette question, ne jugeant pas l'ARN et l'ADN comme structures vivantes.

Enfin, pour la question 6 : « *Concrètement, penses-tu recevoir une structure vivante étrangère dans ton organisme lorsque tu es vacciné(e) ?* », les réponses globales définies sont les suivantes :

- 1. Oui, même si la forme vivante est différente de nous (14%) ;
- 2. Oui, car le virus évolue / mute (1%) ;
- 3. Non, car les critères de la vie ne sont pas respectés (4%) ;
- 4. Non, car ADN / ARN / virus ne sont pas vivants (34%) ;
- 5. / (39%) ;
- 6. Je n'y ai jamais pensé (4%) ;
- 7. Je ne sais pas (4%) .

Deux grandes tendances ressortent dans les réponses données par les étudiants. Sur les 148 répondants, 39% n'ont pas répondu à la question bien qu'ils aient pour la plupart répondu « *oui* » au QCM lié ne donnant pas une justification à leurs réponses. Il y a également 34% des

sondés qui estiment que le vaccin n'est pas vivant car les molécules d'ARN et d'ADN ne sont pas vivantes, tout comme les virus. Certains étudiants à raison de 12% disent au contraire que la composition du vaccin est vivante, mais que c'est la forme vivante qui change par rapport à celle de l'humain.

Seconde phase d'étude (novembre 2021 - mai 2022)

Lors de cette seconde étape exploratoire qui visait à mettre en évidence l'état des conceptions des étudiants sur la notion de vivant liée à l'ADN ainsi que l'évolution de ces conceptions entre le pré-test et le post-test, un auditoire de 32 étudiants en biologie a été sondé lors d'un cours de biologie générale. Un second groupe de 5 étudiants en littérature a ensuite été sondé. La répartition des étudiants entre les sections est inégale (Tableau 3).

Tableau 3 : Données globales du nombre d'étudiants par section et classées suivant plusieurs facteurs.

Section	Nombre total	Filles	Garçons	Sc. niveau 1	Sc. niveau 2	Sc. niveau 3
Biologie	32	18	14	8	13	11
Littéraire	5	2	3	1	3	1

Section biologie

Le taux de réponse global pour l'ensemble de l'auditoire est repris pour chacune des questions (Q). Tout d'abord, 31% des étudiants considèrent l'ADN comme vivant (Q1). Ensuite, 65% des sondés estiment que L'ADN est un composé chimique non-vivant (Q2). Concernant la molécule d'ARN, 25% des étudiants la considèrent comme vivante (Q3). Enfin, 37% des répondants pensent recevoir une structure vivante étrangère dans leur organisme lorsqu'ils sont vaccinés contre la Covid-19.

De manière générale, environ 30% des étudiants de l'auditoire en biologie ont des conceptions erronées pour la notion de vivant liée à l'ADN, à l'ARN et au vaccin contre la Covid-19.

Le sexe a un impact sur le profil de réponses des étudiants. Ce facteur est significatif pour la question 2, il y a donc une tendance à mieux répondre suivant le sexe. Aussi, le sexe semble avoir une influence dans le fait de bien répondre à la question 1 bien que ce facteur soit non-significatif mais tend à l'être (Tableau 4). En effet, les filles ont tendance à montrer plus de difficultés dans la compréhension du vivant.

Tableau 4 : Mise en évidence des facteurs significatifs ou proches de la significativité suivant l'Anova pour chacune des questions QCM.

Questions	Sexe	Niveau - sciences
Question 1	0.060	
Question 2	0.029	
Question 3		
Question 6		

Les éléments significatifs (noir) et les éléments proches de la significativité (gris) sont repris sont indiqués par leur p-valeur.

Tout d'abord, une majorité de biologistes considèrent l'ADN comme non-vivant (Q1 ; intercept 1.22) et les garçons répondent globalement mieux à cette question (intercept de 4.80 ; Annexe 7).

Pour la seconde question où le facteur *sexe* est significatif (Figure 5), deux tiers des étudiants (intercept 0.92) considèrent que l'ADN est un composé chimique non-vivant. Ces résultats avancent que, comparés aux garçons, les filles présentent davantage de conceptions erronées pour cette question (intercept 6.01). Le niveau de sciences fortes ne semble pas mettre en

évidence de meilleures réponses que les étudiants de sciences de base (intercept 1.03 ; Annexe 8).

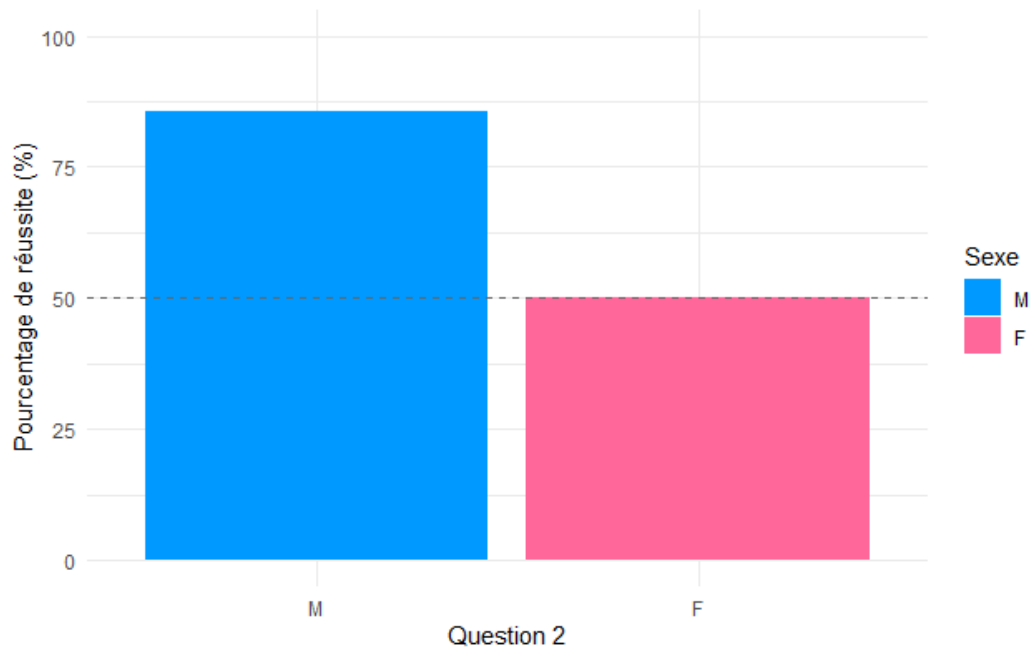


Figure 5. Graphique reprenant les taux de réussite selon le sexe pour la question 2 : « Selon toi, l'ADN est un composé chimique qui n'est pas vivant, vrai ou faux ? ».

Pour la question 3, trois quarts des sondés qualifient l'ARN comme non-vivant (intercept 1.22). Le sexe masculin (intercept 3.03) semble avoir davantage de conceptions correctes pour cette question. Le niveau de sciences ne montre pas de tendance (intercept 1.26) (Annexe 9).

Enfin, les résultats obtenus pour la question 6 montrent que plupart des biologistes pensent recevoir une structure non-vivante étrangère dans leur organisme lorsqu'ils sont vaccinés contre la Covid-19 (intercept 0.92). Le facteur *sexe* est non-significatif pour cette question bien qu'une tendance soit marquée. Les garçons (intercept 0.37) semblent en effet montrer plus de conceptions erronées pour cette question (Figure 6). Le niveau de sciences ne montre à nouveau pas de tendance particulière (intercept 1.66 ; Annexe 10).

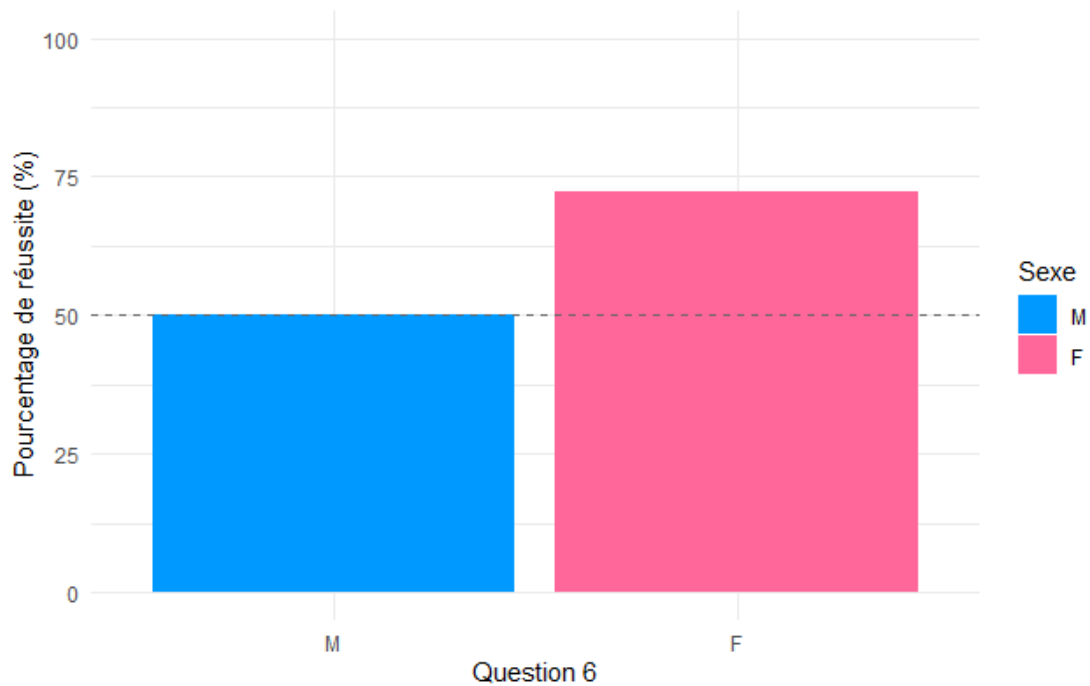


Figure 6. Graphique reprenant les taux de réussite selon le sexe pour la question 6 : « Penses-tu recevoir une structure vivante étrangère dans ton organisme lorsque tu es vacciné(e) contre la Covid-19 ? ».

Pour les questions ouvertes, les proportions obtenues pour la question 4 : « Quelles sont tes inquiétudes face aux vaccins ? » sont les suivantes :

- 1. Efficacité sur le long terme (3%) ;
- 2. Effets secondaires (31%) ;
- 3. Les composants du vaccin (3%) ;
- 4. Manque de recherche / de recul (6%) ;
- 5. Aucune (57%).

Les résultats obtenus montrent deux tendances générales pour cette question. La majorité des étudiants de l'auditoire se divise suivant deux grandes idées. Il y a 31% des étudiants qui s'inquiètent des effets secondaires suite à l'injection d'un vaccin. Pour 57% des autres étudiants interrogés, ils n'ont aucune inquiétude. Une plus faible proportion estime qu'il y a un manque de recherche pour l'élaboration et la mise sur le marché de ce vaccin.

Pour la question 5 : « *Dans le cas où tu considères l'ADN / l'ARN comme vivants, cela te dérange-t-il de recevoir une dose du vaccin ?* », les réponses globales définies sont les suivantes :

- 1. Non, j'ai confiance en la science (16%) ;
- 2. Oui, les composants du vaccin sont méconnus (6%) ;
- 3. / (Personnes qui n'ont pas répondu car demandé dans la consigne) (78%).

Les résultats indiquent que 16% des étudiants ne sont pas inquiets pour le vaccin contre la Covid-19 car ils ont " *confiance en la science* " tout en considérant les molécules d'ARN et d'ADN comme vivantes. Une proportion de 6% des sondés n'est pas rassurée car elle ne fait pas confiance aux éléments retrouvés dans le vaccin. Environ trois quarts des étudiants ne devait pas répondre à cette question, ne jugeant pas l'ARN et l'ADN comme structures vivantes.

Enfin, pour la question 6 : « *Concrètement, penses-tu recevoir une structure vivante étrangère dans ton organisme lorsque tu es vacciné(e) ?* », les réponses globales définies sont les suivantes :

- 1. Oui, même si la forme vivante est différente de nous (19%) ;
- 3. Non, car les critères de la vie ne sont pas respectés (3%) ;
- 4. Non, car ADN / ARN / virus ne sont pas vivants (44%) ;
- 5. / (34%).

Deux grandes tendances ressortent dans les réponses données par les étudiants. Sur les 32 répondants, 34% n'ont pas répondu à la question en ayant répondu pour la plupart « *non* » au QCM lié ne donnant pas une justification à leurs réponses. Il y a également 44% des sondés qui estiment que le vaccin n'est pas vivant car les molécules d'ARN et d'ADN ne sont pas vivantes, tout comme les virus. Certains étudiants à raison de 19% disent au contraire que la composition du vaccin est vivante, mais que c'est la forme vivante qui change par rapport à celle de l'humain.

Ensuite, les post-tests ont été analysés et comparés aux pré-tests suivant un test de t de Student apparié qui a donné comme valeur 5.10^{-3} (Annexe 11). Le test est donc significatif, il y a une différence nette entre les réponses obtenues aux pré-tests et celles du post-test. En

effet, sur les 32 étudiants, six ont changé au moins une réponse entre le pré-test et le post-test. Ce même test statistique a été réalisé entre les bonnes réponses issues du pré-test et celles du post-test et a donné la valeur de 0.42 (Annexe 12). Ce second test amène à une acceptation de l'hypothèse nulle qui n'a pas permis de mettre en évidence une différence liée aux réponses correctes. En effet, 22 étudiants considéraient l'ADN comme vivant lors du pré-test contre 24 pour le post-test. En réalité, quatre biologistes ont montré une meilleure conception pour le post-test et deux autres étudiants ont donné des conceptions davantage erronées.

Section littéraire

Tout d'abord, 60% des étudiants considèrent l'ADN comme vivant (Q1). Ensuite, 40% des sondés estiment que L'ADN est un composé chimique non-vivant (Q2). Concernant la molécule d'ARN, 40% des étudiants la considèrent comme vivante (Q3). Enfin, 60% des répondants pensent recevoir une structure vivante étrangère dans leur organisme lorsqu'ils sont vaccinés contre la Covid-19.

De manière générale, environ 60% des étudiants de l'auditoire en littérature ont des conceptions erronées pour la notion de vivant liée à l'ADN, à l'ARN et au vaccin contre la Covid-19. En raison du nombre trop faible de représentants dans ce groupe (5), les analyses s'arrêtent à ce niveau-ci.

Pour les questions ouvertes, les proportions obtenues pour la question 4 : « *Quelles sont tes inquiétudes face aux vaccins ?* » sont les suivantes :

- 1. Effets secondaires (40%) ;
- 2. Manque de recherche / de recul (20%) ;
- 3. Aucune (40%).

Les résultats obtenus montrent deux tendances générales pour cette question. Les étudiants se divisent suivant deux grandes idées. Il y a 40% des étudiants qui s'inquiètent des effets secondaires suite à l'injection d'un vaccin. Pour 40% des autres étudiants interrogés, ils n'ont aucune inquiétude. Une plus faible proportion estime qu'il y a un manque de recherche pour l'élaboration et la mise sur le marché de ce vaccin.

Pour la question 5 : « *Dans le cas où tu considères l'ADN / l'ARN comme vivants, cela te dérange-t-il de recevoir une dose du vaccin ?* », les réponses globales définies sont les suivantes :

- 1. Non, j'ai confiance en la science (60%) ;
- 2. / (Personnes qui n'ont pas répondu car demandé dans la consigne) (40%).

Les résultats indiquent que 60% des étudiants ne sont pas inquiets pour le vaccin contre la Covid-19 car ils ont " *confiance en la science* " tout en considérant les molécules d'ARN et d'ADN comme vivantes. Les étudiants ne devant pas répondre à cette question, ne jugeant pas l'ARN et l'ADN comme structures vivantes représentent 40%.

Enfin, pour la question 6 : « *Concrètement, penses-tu recevoir une structure vivante étrangère dans ton organisme lorsque tu es vacciné(e) ?* », les réponses globales définies sont les suivantes :

- 1. Oui, même si la forme vivante est différente de nous (60%) ;
- 2. Non, car ADN / ARN / virus ne sont pas vivants (40%) ;

Deux grandes tendances ressortent dans les réponses données par les étudiants. Il y a 40% des sondés qui estiment que le vaccin n'est pas vivant car les molécules d'ARN et d'ADN ne sont pas vivantes, tout comme les virus. Le reste des étudiants disent au contraire que la composition du vaccin est vivante, mais que c'est la forme vivante qui change par rapport à celle de l'humain.

Ensuite, les post-tests ont été analysés et comparés aux pré-tests. Deux étudiants ont changé d'avis durant l'étude, l'un d'eux montre des conceptions plus justes à l'inverse de l'autre qui met en avant des conceptions davantage erronées.

Les interviews

Les interviews d'étudiants ont été la dernière étape de l'analyse. Les réponses obtenues ont été reprises pour chacun des deux étudiants sondés.

Pour la question 1 : « *Comment tu définirais la vie ? Un organisme vivant ?* » les deux étudiants ont donné des éléments différents pour définir la vie ;

- Étudiant en biologie : « *Il faut répondre à des critères comme pouvoir bouger, s'alimenter, respirer, se reproduire et être composé de cellules.* »
- Étudiant en littérature : « *Il faut répondre à des critères comme posséder des organes. Posséder certains organites comme les mitochondries et les chloroplastes signifie être vivant.* »

Au niveau de la question 2 : « *Pourquoi lors du pré-test avoir considéré l'ADN comme vivant / non-vivant ?* » les deux étudiants ont donné les réponses suivantes ;

- Étudiant en biologie : « *L'ADN est non-vivant car c'est un constituant de l'organisme qui va définir ses fonctions qui n'est composé que d'éléments chimiques comme des bases azotées.* »
- Étudiant en littérature : « *L'ADN est non-vivant car c'est de l'acide désoxyribonucléique, un simple composé chimique. Cependant, posséder de l'ADN est une caractéristique pour être vivant.* »

La question 3 : « *Pourquoi lors du post-test avoir considéré l'ADN comme vivant / non-vivant ? Pourquoi avoir éventuellement changé d'avis ?* » était spécifique à un étudiant qui a changé d'avis au cours de l'étude ;

- Étudiant en biologie : « *J'ai changé d'avis suite au cours sur l'ADN. Il y a quelques éléments dans le cours qui m'ont fait penser que l'ADN était vivant, lui-même étant la base pour structurer et définir toute forme de vie, l'ADN est donc vivant lui aussi.* »

Enfin, la dernière question : « *La considération du vivant / non-vivant a-t-elle de l'importance selon toi ? Pourquoi ?* » a montré des tendances différentes ;

- Étudiant en biologie : « *Tout va dépendre de la situation. Dans des cas qui me concernent plus dans ma manière d'interagir, ça n'a pas d'importance, je n'interagis*

pas avec le non-vivant comme une chaise, c'est automatique. Par contre, certaines de nos actions seront définies suivant le critère d'être vivant, puisque l'Homme respecte plus le vivant de manière générale. »

- Étudiant en littérature : *« Oui pour plusieurs points. En terme d'éthique, on ne fait pas n'importe quoi avec du vivant car des lois protègent certains organismes vivants. L'exemple du clonage appuie cette idée, des règles éthiques sont à prendre en compte, on ne peut pas faire tout ce qu'on veut. Une seconde raison concerne la rigueur scientifique qui doit amener à avoir une idée claire de ce qui est vivant. »*

Discussion

L'analyse de neuf ressources littéraires a mis en évidence une variété importante au niveau des critères donnés au vivant. La formulation et le nombre de critères donnés fluctuent beaucoup entre les ressources consultées. Ce constat semble rendre la conception du vivant difficile comme l'exprime un étudiant : *« tout dépend de la façon de voir le vivant »*. Comme l'indiquent de nombreux auteurs, il n'y a pas une définition simple du vivant, les caractéristiques attribuées à la vie sont généralement inégales suivant les sources (El-Hani, 2008 ; Cain *et al.*, 2006 ; Campbell et Reece, 2004). De plus, les approches réductionnistes et systémiques ainsi que le statut épistémique du vivant complexifient davantage ce concept (Gallezot, 2018). Cette problématique à tenter de définir la vie n'est pas récente, Aristote (384 - 322 av. J.-C.) exposait déjà les difficultés pour parvenir à définir la vie (Canguilhem, 1966). Ces difficultés ont perduré durant plusieurs siècles comme l'explique Tournier (2021), la raison suggérée étant la nature complexe de cette notion de vivant qui implique une grande diversité des formes de vie.

Gallezot (2018) explique la présence de deux grands types de définition. L'une désigne le vivant comme un système capable de régénérer sa propre matière en puisant dans l'environnement l'énergie pour y parvenir comme le suggèrent les ressources de Lecointre et Le Guyader (2001), de Buschen *et al.* (2017) et le site Khan Academy (2021). L'autre type de définition caractérise le vivant par sa capacité à se reproduire comme le suggèrent Cain *et al.* (2006) et le site Alloprof (2021). Science et Vie (2018) annonce, quant à elle, que le vivant partage les deux types de définitions présentées par Gallezot, une vision qui semble plus adéquate selon cet auteur (Gallezot, 2018). D'autres scientifiques comme Prigogine dans les

années 1970 et Ruiz-Mirazo *et al.* en 2004 ont tenté d'apporter une définition plus universelle au vivant (Lechermeier, 2015 ; Tournier, 2021). Selon ces auteurs, le vivant serait défini comme un système dissipatif, c'est-à-dire une structure d'auto-organisation rendue possible par l'apport d'énergie et de matières issues de l'environnement. Ces systèmes étant caractérisés comme étant ouverts, cette consommation d'énergie et de matière provenant du milieu environnant augmente l'entropie du système. Cette définition, qui pourrait être universelle selon leurs auteurs, est l'une des plus récentes (Lechermeier, 2015 ; Tournier, 2021). Cependant, malgré la volonté de certains auteurs de proposer une définition universelle, force est de constater qu'aucune définition ne fait actuellement consensus.

Selon El-Hani (2008), il existe une insuffisance dans la manière d'aborder le concept du vivant dans les manuels scolaires du primaire et du secondaire. En effet, l'approche essentialiste retrouvée dans l'ensemble des ressources consultées et qui attribue des caractéristiques essentielles présentes chez tous les organismes vivants est souvent retrouvée au sein des livres de référence utilisés en classe. Les deux étudiants sondés dans la présente étude ont également montré deux mêmes tendances à définir le vivant suivant l'approche essentialiste en donnant des critères essentiels que partagent tous les organismes vivants (El-Hani, 2008). Pour l'étudiant en biologie, les critères avancés correspondent le plus à ceux donnés par Buschen *et al.* (2017). Pour l'étudiant en littérature, la correspondance peut se faire avec ce qui est proposé par Lecointre et Le Guyader (2001) et par Buschen *et al.* (2017). El-Hani estime que cette approche tend à compliquer davantage la notion du vivant pour les élèves car les éléments définissant la vie changent d'un auteur à l'autre (El-Hani, 2008). Des publications plus récentes ont également mis en évidence le manque de clarté autour de la définition de ce concept alors que les connaissances dans le domaine de la biologie ont fortement augmenté avec l'accumulation d'un grand nombre de données empiriques, ce qui peut sembler surprenant (Tsokolov, 2009 ; Tournier, 2021). L'approche essentialiste ne semble pas être la meilleure au vu des difficultés qui la caractérisent, il serait probablement intéressant d'envisager une autre approche pour définir la vie et d'en tester l'efficacité comme le propose El-Hani.

Cette présente étude a pu montrer qu'il existait effectivement des difficultés à définir le vivant pour des étudiants de premier cycle issus de différentes sections qui présentent des conceptions erronées pour une partie d'entre eux. Cependant, certaines sections étudiées se débrouillent mieux que d'autres en présentant des conceptions plus correctes. Durant les cours

d'été, les sections en sciences ont estimé à raison de 57% que l'ADN est vivant. Ce pourcentage de conceptions erronées est proche de celui obtenu par Witzig *et al.* lors de son étude en 2013. Pour les étudiants de bloc 1 en biologie, ce pourcentage de conceptions erronées baisse à 31% et vaut 60% pour les littéraires du même bloc. Selon Witzig *et al.* (2013), il y a une problématique à désigner l'ADN comme organisme vivant, un résultat qu'il a rencontré au cours de sa recherche et qui a également été rencontré au travers de réponses d'étudiants de toutes les sections étudiées. Dans sa recherche en 2013, les étudiants montrent des difficultés à définir l'ADN comme une structure chimique non-vivante. Certains étudiants confondent cette molécule avec les cellules vivantes, d'autres répondants désignent l'ADN comme vivant car cette molécule se trouve au sein de tous les organismes vivants. Les conceptions des deux étudiants relevées lors de l'interview étaient correctes. L'étudiant en biologie tout comme celui de littérature spécifient que l'ADN est non-vivant, la molécule étant simplement un composé chimique qui constitue l'organisme des vivants. Bien que cette conception soit juste, elle est loin d'être retrouvée chez tous les étudiants sondés. En tant que structure microscopique, l'ADN peut amener à plus de problèmes de conceptions chez les étudiants (Witzig *et al.*, 2013).

Comme le cite Gallezot (2018), définir le vivant suivant l'échelle microscopique est plus difficile pour les étudiants. À ce niveau de grandeur, les processus biologiques ne sont pas distinguables à l'oeil nu ce qui peut expliquer une source plus importante de conceptions erronées (Lawson *et al.*, 2000 ; Castellini *et al.*, 2007 ; Drane *et al.*, 2009). En effet, certaines réponses d'étudiants appuient cette hypothèse : « *on ne voit pas* » ou « *on ne sait pas concrètement à quoi cela correspond* » ou encore « *on n'est jamais sûr de ce que l'on nous injecte* ». Plus spécifiquement à cette échelle, il arrive que les étudiants confondent les niveaux de grandeur des structures entre elles. Par exemple, certains répondants attribuent une même taille aux virus et aux atomes pour des élèves de fin de secondaire (Simonneaux, 2000). Ce type de confusion est présent également chez certains étudiants des cours d'été qui avancent que « *l'ADN et l'ARN sont des organites différents* » ou « *l'ADN et l'ARN sont des organismes vivants* ». L'hypothèse avancée selon laquelle l'aspect microscopique complique la conception de vivant pour ces structures moléculaires semble se confirmer pour certains étudiants. Ces conceptions erronées pourraient aussi provenir d'autres sources d'erreurs qui n'ont pas pu être vérifiées au sein de la présente étude. La mauvaise connaissance de la structure de ces molécules pourrait être l'une de ces causes. En effet, une étude menée par Dahmani (2011) proposait un test à des élèves de cinquième secondaire pour recueillir leurs

connaissances sur l'ADN. Cette recherche a mis en évidence la considération récurrente de l'ADN par des élèves du secondaire d'une simple structure en double hélice, l'aspect fonctionnel n'étant pour la plupart pas donné par les répondants. D'autres études comme celles de Bahar *et al.* (1999) et de Marbach-Ad et Savy (2000) ont pu mettre en évidence l'importance du degré d'abstraction dans les difficultés rencontrées par les élèves pour un concept tel que l'ADN. Le manque de perception sensorielle lié à ce concept génère des complications d'apprentissage chez les élèves qui confondent le niveau macroscopique avec le niveau microscopique (Bahar *et al.*, 1999 ; Marbach-Ad et Savy, 2000). En conséquence, ces différents obstacles pourraient générer une moins bonne compréhension de la vie chez les apprenants (Gallezot, 2018). Des études ultérieures focalisées davantage sur ces potentielles causes pourraient permettre de voir si des liens peuvent réellement se faire.

Concernant la molécule d'ARN, une proportion de 50% d'étudiants des cours d'été de toutes sections confondues la considèrent comme étant vivante. Les répondants issus de la section biologie en bloc 1 ont considéré à raison de 35% que l'ARN est vivant. Ce pourcentage est de 40% pour la section littéraire. Près de l'ensemble des étudiants qui ont considéré l'ARN vivant ont défini l'ADN comme étant vivant également. Ce résultat semble cohérent au vu des structures similaires de ces deux molécules qui peut amener à les confondre (Victor, 2012 ; Lemaire, 2018).

Au niveau de la vaccination, 50% de l'auditoire montrent des conceptions erronées en suggérant que le vaccin contre le coronavirus de type 2 est vivant. Ce pourcentage vaut 37% pour les étudiants de bloc 1 en biologie et est de 60% pour la section littéraire. Ces résultats peuvent provenir du manque de positionnement actuel des scientifiques quant à la classification des virus au sein du monde vivant. Une partie des virus connus peuvent en effet se multiplier dans des cellules vivantes animales ou végétales et générer des maladies chez l'hôte. Par contre, sans ces cellules hôtes, les virus ne sauraient exister ce qui les catégorise comme non-vivants pour de nombreux scientifiques. D'autres auteurs ne partagent pas cet avis et les classent parmi les vivants par la présence d'un matériel génétique au sein de leur structure (Cain *et al.*, 2006 ; Jankowski, 2020). La confusion peut également provenir des concepts d'ARN et de virus comme retrouvés au sein de réponses d'étudiants : « *l'ADN et l'ARN sont des organites différents* » ou « *les vaccins sont des virus modifiés* ». Effectivement, certains vaccins produits pour lutter contre le SARS-CoV-2 comme celui de Pfizer et Moderna contiennent de l'ARN messager (Galibert, 2021). Près de 80% des étudiants

qui ont considéré l'ARN comme vivant ont indiqué penser recevoir une structure vivante étrangère à leur organisme lorsqu'ils étaient vaccinés contre la Covid-19. Cela semble cohérent pour ces étudiants du fait de la nature de ce vaccin, les 20% restants sont moins compréhensibles avec des avis contradictoires retrouvés dans leur questionnaire. Les justifications apportées par les répondants qui considèrent le vaccin vivant étaient majoritairement l'idée que c'est « *la forme vivante qui change par rapport à celle de l'humain* ». Le fait qu'il existe des vaccins vivants atténués pourrait expliquer ce résultat (Canouï et Launay, 2019). Le vaccin élaboré pour lutter contre le SARS-CoV-2 est un vaccin inactivé (Feraoun *et al.*, 2021) ce qui semble ne pas être bien compris par une partie des répondants. Pour l'autre part d'étudiants qui estiment que le vaccin n'est pas vivant, une des principales raisons avancées est le postulat affirmant que l'ADN, l'ARN et les virus ne sont pas vivants. Pour les molécules d'ADN et d'ARN, l'affirmation est partagée dans la littérature (Witzig *et al.*, 2013). Les virus gardent une place incertaine dans le monde des organismes vivants (Cain *et al.*, 2006 ; Jankowski, 2020). Une autre raison citée est le non-respect des critères de la vie pour une part plus minoritaire de l'auditoire (4%). Cette affirmation est partagée également par certains auteurs qui placent les virus au sein des non-vivants (Kostyrka, 2018).

Bien que les conceptions erronées soient présentes au sein de toutes les sections étudiées, leur taux est beaucoup plus restreint pour la section biologie en bloc 1. Ce résultat pourrait provenir de la section et de ce qui est vu en cours au sein de cette formation. En effet, le haut pourcentage de conceptions erronées des étudiants littéraires peut être causé par la formation en littérature qui ne donne aucun cours en biologie (Université de Namur, 2022). Pour les étudiants en biologie, plus de cours sont orientés sur la thématique du vivant comme les cours de biologie générale, de biologie animale et de biologie végétale (Université de Namur, 2022). La notion de vivant a été vue plus en profondeur dans le cadre de leur cours de biologie générale qui se base sur le Raven *et al.* (2020) ainsi que sur le Campbell et Reece (2020) comme livres de référence. L'enseignant a d'abord exprimé comme de nombreux auteurs « *il n'y a pas de définition simple à la vie* ». Il a ensuite donné aux étudiants sept critères que partagent tous les êtres vivants entre eux, une vision essentialiste présente au sein des manuels de référence. Ces critères sont ; l'organisation cellulaire, la complexité ordonnée, la sensibilité, la croissance et la reproduction, l'utilisation d'énergie, l'homéostasie et l'adaptation évolutive. De ce fait, les étudiants en biologie semblent être plus au clair avec la notion de vivant ce qui correspond à l'une des hypothèses posées au sein de cette étude. Les conceptions de ces étudiants ont évolué durant l'étude entre les pré-tests et les post-tests.

Seulement, le taux de bonnes réponses n'a pas changé significativement entre les deux tests même si une légère hausse de bonnes réponses se manifeste au niveau des post-tests. Finalement, six étudiants ont changé d'avis sur les 32 présents ce qui est relativement faible. L'étudiant de cette section sondé lors de l'interview a changé d'avis lors du post-test, justifiant que « *l'ADN est vivant car il permet la construction des êtres vivants* ». Ce changement conceptuel a amené l'étudiant vers une conception erronée sur le statut de l'ADN (Bélanger, 2009 ; Witzig et al., 2013). Ce changement conceptuel étant normalement réalisé pour aller vers de meilleures conceptions, il serait intéressant de chercher plus en profondeur la raison de cette mauvaise compréhension et de tenter d'y apporter des solutions. Pour la section littéraire, l'un des étudiants a changé d'avis dans une évolution positive vers une meilleure conception, un autre a évolué dans le sens inverse. Ces résultats réfutent l'hypothèse selon laquelle un cours universitaire fait évoluer les conceptions des étudiants. Les difficultés à faire changer les conceptions des étudiants qui sont ancrées en eux et difficilement modifiables peuvent expliquer ces observations (Reverdy, 2018). Le cours magistral donné aux étudiants de bloc 1 en biologie sur l'ADN pourrait lui aussi être la cause d'un changement conceptuel peu observé. L'étude de Witzig *et al.* (2013) met également en avant cette tendance des étudiants à garder leurs préconceptions erronées au cours du temps même suivant un enseignement donné sur les concepts étudiés. Beaucoup d'études se sont consacrées dès la fin des années 1970 à ce changement des conceptions. Plus spécifiquement, le changement conceptuel chez les élèves se définit comme étant un apprentissage non cumulatif où se déroule une modification des savoirs antérieurs afin de les faire évoluer chez l'apprenant. Le développement cognitif de l'élève ainsi que son évolution sont les deux éléments importants à prendre en compte pour tenter d'arriver à faire changer les conceptions des élèves et des étudiants. L'une des pistes envisagées pour parvenir à faire évoluer les conceptions est d'arriver à générer un conflit cognitif chez les élèves, bien que leurs préconceptions soient résistantes aux changements (Bélanger, 2009).

Lemaire (2018) a relevé l'existence d'une problématique plus générale liée à l'enseignement de la génétique en classe. Certains enseignants auraient des conceptions erronées en génétique qui seraient transmises aux élèves directement ce qui pourrait augmenter les conceptions erronées chez eux. Il pourrait également exister un manque de clarté dans les manuels scolaires utilisés en classe pour cette thématique d'enseignement. L'étude montre que les élèves présentent des difficultés pour définir ce concept de génétique avec une importante source de confusion dans ce domaine. En effet, les élèves mélangent les concepts d'ADN avec

les notions de chromosomes et de gènes (Lemaires, 2018). Ces confusions pourraient amener à de mauvaises conceptions sur la structure même de l'ADN et sur son statut par rapport au vivant. D'autres recherches en didactique pour l'éducation scientifique et technologique ont mis en évidence la difficulté qu'ont les élèves à lutter contre leurs préconceptions dans le domaine scientifique. En effet, les conceptions nouvelles doivent prendre le dessus sur les anciennes conceptions qui sont fortement ancrées et issues d'un raisonnement naturel pour l'élève. Les connaissances en sciences sont souvent contre-intuitives ce qui rend plus compliqué le changement conceptuel chez les élèves. Ces obstacles les amènent à garder des savoirs non-acquis (Reverdy, 2018). Il aurait pu être intéressant d'analyser davantage l'étude sur l'enseignement donné aux étudiants pour éventuellement justifier de mauvaises conceptions qui en découleraient. Se focaliser sur des étudiants en fin de cycle ainsi que sur des sections identiques provenant de différentes universités avec un plus grand nombre de représentants pourrait permettre de confirmer ou non les causes de conceptions erronées liées à l'enseignement, à la section et au changement conceptuel. Cette approche pourrait être une piste pour des études futures sur le même sujet.

Les analyses statistiques réalisées ont également montré que la section tout comme le niveau de sciences suivi en secondaire avaient un impact sur le profil de réponses des étudiants issus des cours d'été, ces facteurs étant significatifs pour certaines questions de l'étude. Tout d'abord, le facteur section aurait donc un impact non négligeable sur les réponses des étudiants. Ce résultat peut sembler surprenant car lors des cours préparatoires, les étudiants ne sont pas encore en bloc 1 et n'ont pas suivi de cours universitaires au préalable pour la majorité des cas. La section dans laquelle ils se situent n'est à ce stade qu'une étiquette de future formation qu'ils suivront à la rentrée suivante (Université de Namur, 2022). Cependant, ces étudiants ont un parcours antérieur qui leur est propre. Ce passé peut avoir une influence sur le profil de réussite de ces étudiants comme le montrent certaines études sur le sujet. En sociologie, un exemple illustratif est la théorie de la reproduction sociale qui avance une transmission du niveau social entre les individus de différentes générations issus d'une même famille. De ce fait, l'origine sociale de l'étudiant ainsi que son parcours scolaire sont deux facteurs qui ont de l'influence sur le profil des étudiants actuels (Draelants, 2014). Felouzis (2001) a pu montrer plus spécifiquement que les étudiants issus de milieux plus pauvres et qui ont suivi un enseignement de type professionnel ou technique montrent plus de problèmes de compréhension au sein de leurs cours. Ce sont également ces mêmes types d'apprenants qui abandonnent plus facilement leurs études, les autres étudiants provenant de milieux sociaux

plus élevés montrent une persévérance à continuer leur parcours même si des difficultés sont présentes (Felouzis, 2001). Il est possible que ces étudiants issus de milieux défavorisés présentent davantage de conceptions erronées. Cette piste n'a pas été explorée au sein de l'étude mais elle pourrait l'être dans le cadre d'autres analyses ultérieures pour vérifier si la correspondance est présente. Le choix d'une section est aussi lié au contenu de la formation choisie ainsi que des perspectives d'emploi qui y sont liées. Les étudiants qui s'inscrivent dans une même filière peuvent présenter des intérêts communs pour la formation choisie (Lambert, 2015). Les intérêts communs pour les formations choisies pourraient être la cause d'une différence observée entre les sections étudiées. En effet, les étudiants en pharmacie présentent le plus de conceptions erronées à l'inverse de la section biomédicale qui montre des conceptions plus justes. Ce résultat pourrait provenir de la variabilité entre les formations avec des pharmaciens qui seront davantage formés en chimie et la section biomédicale formée plus fortement en biologie où la notion de vivant est bien présente (Université de Namur, 2022). Ces raisons pourraient expliquer les impacts des sections sur les profils de réponses observées. Par contre, les chimistes présentent des conceptions plus acceptables que les biologistes pour la notion de vivant. Certaines sections présentent donc de meilleures conceptions que d'autres, mais les sources d'erreurs semblent être identiques peu importe la section étudiée. Il serait donc intéressant de mener d'autres études qui pourraient aller plus en profondeur pour analyser le réel impact de ces sections sur les conceptions des étudiants.

Ensuite, le niveau de sciences suivi dans le secondaire semble lui aussi jouer un rôle lors de l'étude chez les étudiants des cours préparatoires. En effet, les étudiants qui ont suivi un niveau de sciences plus fort répondent globalement mieux aux questions et présentent de meilleures conceptions. Ceci peut s'expliquer par les objectifs attendus vis-à-vis des élèves qui suivent des cours de sciences générales et qui ont donc eu plus d'heures de sciences par semaine. Ces cours de sciences vont plus en profondeur dans certains points de matière (Fédération Wallonie - Bruxelles, 2020) ce qui pourrait favoriser une meilleure compréhension par les élèves des concepts étudiés comme le suggèrent les résultats obtenus. Une étude plus ciblée sur le sujet pourrait permettre d'éclairer davantage cette hypothèse.

Pour la section de bloc 1 en biologie, le sexe semble avoir un impact significatif sur le profil de réponses des étudiants. Certaines études ont en effet pu mettre en évidence une différence de niveau entre les sexes suivant certaines filières. Par exemple, une étude réalisée par Breda (2014) a montré qu'en mathématiques, les performances des garçons étaient nettement

supérieures à celles des filles. À l'inverse, dans les filières littéraires, les filles montrent de meilleurs résultats que les garçons. En sciences, l'écart entre les sexes est si réduit qu'il est presque inexistant (Breda, 2014). Les résultats obtenus montrent une nette différence entre les garçons et les filles, le sexe masculin considérant l'ADN comme structure chimique non-vivante à raison de 75% contre 50% pour les filles. La tendance inverse a été rencontrée pour la dernière question avec la considération du vaccin comme vivant ou non-vivant ce qui est difficilement interprétable. Ces tendances ne correspondent pas à celles suggérées par la littérature (Breda, 2014).

Pour l'ensemble des résultats statistiques obtenus, il y a lieu de rester critique quant aux interprétations qui en découlent. En effet, certains résultats semblent surprenants et ne correspondent pas à ce qui est repris au sein de la littérature. Plus précisément, les étudiants interrogés sont répartis inégalement au sein des différentes sections (Tableau 1) ce qui peut fausser les tendances obtenues. Aussi, le faible nombre de représentants par section ne garantit pas une forte puissance statistique. Il est donc possible que les liens entre les facteurs étudiés et les résultats soient inexistantes. Un échantillon avec un nombre beaucoup plus important d'étudiants qui aurait amené aux mêmes résultats aurait alors pu être considéré comme tendances représentatives (Bonache, 2018).

Au niveau des questions ouvertes, les tendances dans les réponses données par les étudiants des cours préparatoires comme des sections en bloc 1 sont les mêmes. Près de 40% des étudiants disent s'inquiéter des effets secondaires possibles suite à l'injection d'un vaccin. Cette inquiétude est effectivement retrouvée parmi des études qui se sont penchées sur la question pour d'autres maladies virales où la peur d'effets indésirables est considérable suite au vaccin contre la grippe (Jeannin, 2016). Une autre part équivalente des étudiants affirme n'avoir aucune inquiétude vis-à-vis des vaccins, une majorité d'entre eux le justifiant au travers de la question d'analyse qui suivait dans le questionnaire. En effet, leurs réponses montraient qu'ils n'avaient pas peur du vaccin contre la Covid-19, estimant avoir une totale confiance en la science et en la médecine. Ce résultat peut sembler surprenant puisqu'il suggère que les personnes ne sont pas inquiètes de recevoir une structure vivante dans leur organisme lorsqu'elles sont vaccinées. Aussi, c'est le manque de confiance grandissant en la science qui est cité à plusieurs reprises au travers d'études sur le sujet à cause des différents obstacles décrits précédemment (Baudier *et al.*, 2020 ; Rouban, 2021). D'un autre côté, l'échantillon étudié durant les cours d'été est un public comprenant toutes des sections

scientifiques ce qui pourrait justifier cette confiance dans le domaine des sciences. D'autres raisons sont citées en plus faibles proportions comme l'innocuité des vaccins liée aux éléments qui le composent. Cette cause est également retrouvée au sein de la littérature faisant partie des obstacles à la vaccination pour une partie de la population (Ward *et al.*, 2022). Un autre facteur avancé est celui du manque de recherche et de recul par rapport au vaccin contre la Covid-19. Aussi, la rapidité à laquelle ce vaccin a été élaboré inquiète un certain nombre d'étudiants (13%). Ce point est également partagé par la communauté scientifique. En temps normal, il faut une quinzaine d'années pour qu'un vaccin puisse être élaboré et mis sur le marché. L'étude menée par Feraoun *et al.* (2021) indique dans le titre de sa publication : « *Covid-19, des vaccins à la vitesse de l'éclair* ». En effet, l'élaboration du vaccin s'est mise en place dès l'instant où le séquençage du génome du virus a été réalisé, soit en janvier 2020. Peu de temps après, en mars 2020, un premier essai clinique a été mené et une année plus tard, les premiers vaccins ont été autorisés pour être administrés à la population ce qui s'est fait bien plus rapidement qu'en moyenne. Cependant, cette rapidité est justifiée par la mise en place de procédures d'urgence au vu de la pandémie générée par ce virus dans le monde. De très gros apports financiers ainsi qu'une forte collaboration entre laboratoires ont pu permettre d'être bien plus rapide pour créer les vaccins contre la Covid-19 (Feraoun *et al.*, 2021).

Un dernier point d'analyse s'est focalisé sur l'importance de distinguer le vivant du non-vivant lors des interviews réalisées. Pour l'étudiant en biologie, il y a une importance à faire la distinction car les actions de l'Homme en sont directement impactées. En effet, la vision biocentrique liée au statut épistémique du vivant énonce que tous les organismes vivants font partie d'une seule communauté biologique où chacun des organismes possède une valeur intrinsèque. Cette vision justifie une limitation dans les actions menées sur toutes formes de vie autre que l'humain (Fortin, 2018). L'étudiant littéraire énonce deux grandes raisons que sont l'éthique et la rigueur scientifique. En effet, l'éthique est de plus en plus présente et est la source de nombreuses limitations dans le domaine de la biologie (Tournier, 2021). Cependant, les avancées en biotechnologie sont si importantes ces dernières années qu'elles amènent à de nouvelles questions d'ordre éthique liées à l'expérimentation pratique (Atlan et Chabert, 2008). L'autre raison liée à la rigueur scientifique est partagée dans la littérature qui indique qu'un concept en science doit être caractérisé comme étant clair, précis et pouvoir être compris toujours dans un même sens (Willet, 1996). L'importance de ce concept est présente au sein des programmes d'études en secondaire vu son omniprésence (Fédération Wallonie -

Bruxelles, 2020). El-Hani (2008) estime qu'il est primordial de pouvoir définir au mieux ce concept de vie car le vivant est fondamental en biologie.

Globalement, la présente étude a pu montrer qu'il existait un grand nombre de causes possibles aux conceptions erronées des étudiants. Certains facteurs jouant un rôle dans ces conceptions semblent être vérifiés au travers des résultats obtenus et confirment ou réfutent les hypothèses avancées. Des études futures dans d'autres établissements et portant sur un plus grand nombre de représentants pourraient permettre de valider avec une plus forte puissance les tendances obtenues.

Conclusion

Le vivant est un concept difficile à définir. Depuis des siècles, les tentatives de définitions ont été nombreuses et il n'y a pas encore de consensus pour une définition universelle. Pourtant, cette notion centrale en biologie est présente dans tous les programmes d'études en secondaire ce qui lui donne une certaine importance. Au travers de leurs études, Simonneaux (2000), Catsellini *et al.* (2007) et Drane *et al.* (2009) ont pu mettre en évidence les difficultés qu'avaient des étudiants dans la compréhension de certaines notions à l'échelle microscopique. La définition du vivant à cette échelle pose également plus de problèmes chez les apprenants. La présente étude a pu montrer l'existence de difficultés à définir la vie pour des étudiants en cours préparatoires de premier cycle en sections scientifiques ainsi que pour les étudiants de bloc 1 inscrits en biologie et en littérature. Lors des post-tests réalisés pour les étudiants de première année, le changement conceptuel n'a pas été significatif, les étudiants ont de fortes tendances à garder leurs préconceptions, même lorsque ces conceptions ne sont pas correctes d'un point de vue scientifique. Ce nombre important de conceptions erronées est lié à la présence de difficultés chez les étudiants à définir le vivant. Les sources de confusion sont nombreuses et proviennent de nombreux facteurs. La section, l'échelle microscopique et les préconceptions semblent avoir un rôle important dans les conceptions erronées des étudiants. Cependant, il est important de rester critique quant aux résultats statistiques obtenus. Le faible nombre de représentants au sein des échantillons donne peu de puissance aux tests statistiques réalisés ce qui nécessite de prendre du recul et de ne pas extrapoler les tendances. Cette problématique autour de la définition du vivant pourrait servir de base à d'autres études liées au sujet sur des groupes d'étudiants plus nombreux. Cette approche permettrait de confirmer

ou de réfuter les hypothèses obtenues avec une plus grande puissance statistique et d'explorer d'autres pistes qui n'ont pas pu être vérifiées au sein de la présente étude.

Annexes

Annexe 1 : Version A des questionnaires pour les étudiants (août 2021)



Questionnaires pour les étudiants

Consignes : Merci de prendre quelques instants pour répondre à ce questionnaire qui m'aidera à récolter des informations dans le cadre de mon mémoire de Master en didactique. Cochez la case qui vous semble correcte quand c'est nécessaire. Pour les réponses ouvertes, répondez dans l'espace indiqué.

1^{ère} partie : les données de l'étudiant

Tu es : une fille / un garçon

Ta date de naissance :

En secondaires, tu étais en :

sciences de base (3h/semaine) / sciences générales (5h/semaine) / sciences générales + cours à option sciences (+ de 5h/semaine)

Cette année, tu es en section :

biologie / chimie / autre (précisez) :

2^{ème} partie : le questionnaire

Selon toi, existe-t-il des structures non-vivantes sur Terre ? :

oui / non

Selon toi, un rocher peut-il être considéré comme vivant ? :

oui / non

➡ 1. La biologie se consacre à l'étude du vivant. Le monde vivant comprend une multitude de formes de vie très diversifiées sur Terre. Selon toi, parmi les différentes propositions, quelle(s) est/sont celle(s) que tu considères comme vivant ? :

un chien / une goutte d'eau / un arbre / une fourmi / du sable / l'ADN / un ongle / un fruit

Penses-tu qu'il existe des formes de vie en dehors de la Terre ?

oui / non

➡ 2. Selon toi, l'ADN est un composé chimique qui n'est pas vivant :

vrai / faux

Supposons que tu considères l'ADN comme structure vivante, serais-tu confiant si l'on injectait dans ton organisme de l'ADN étranger ? :

oui / non

➡ 3. L'ARN possède une structure semblable à celle de l'ADN. En sachant cette information, l'ARN est-elle une structure vivante selon toi ? :

oui / non

Penses-tu que la vie est possible sans eau ? :

oui / non

Penses-tu qu'un jour, il sera possible pour les humains de vivre éternellement ? :

oui / non

➡ 4. Le terme « vaccin » est né à la fin du 18^e siècle. La vaccination suscite encore aujourd'hui de nombreuses réactions au sein de la population. Quelles sont tes inquiétudes face aux vaccins aujourd'hui ? :

.....

.....

.....

.....

➡ 5. La pandémie liée à la Covid-19 a bouleversé notre quotidien depuis plus d'un an. A présent, des vaccins existent pour lutter contre ce virus. Il existe des vaccins à ARN (*Pfizer*) et des vaccins à ADN (*Astrazeneca*). Dans le cas où tu considères l'ADN/l'ARN comme structures vivantes, cela te dérange-t-il de recevoir une dose du vaccin ? (répondre uniquement si tu considères l'ADN/l'ARN comme structures vivantes) :

oui / non + justifiez

.....

.....

.....

.....

➡ 6. Concrètement, penses-tu recevoir une structure vivante étrangère dans ton organisme lorsque tu es vacciné(e) ? :

oui / non + justifiez

.....

.....

.....
.....
Merci d'avoir pris le temps de répondre à ce questionnaire !

Annexe 2 : Version B (pré-tests et post-tests) des questionnaires pour les étudiants (novembre 2021 - mai 2022)



Questionnaires pour les étudiants

Consignes : Merci de prendre quelques instants pour répondre à ce questionnaire qui m'aidera à récolter des informations dans le cadre de mon mémoire de Master en didactique. Cochez la case qui vous semble correcte quand c'est nécessaire. Pour les réponses ouvertes, répondez dans l'espace indiqué.

1^{ère} partie : les données de l'étudiant

Tu es : une fille / un garçon

Ta date de naissance :

En secondaires, tu étais en :

sciences de base (3h/semaine) / sciences générales (6h/semaine) / sciences générales + cours à option sciences (+ de 6h/semaine)

As-tu déjà répondu à cette étude lors des cours préparatoires ? : oui / non

Si tu es d'accord d'être éventuellement recontacté pour cette étude, indique une adresse mail ou un numéro de téléphone :

2^{ème} partie : le questionnaire

Selon toi, existe-t-il des structures non-vivantes sur Terre ? :

oui / non

Selon toi, un rocher peut-il être considéré comme vivant ? :

oui / non

La biologie se consacre à l'étude du vivant. Le monde vivant comprend une multitude de formes de vie très diversifiées sur Terre. Selon toi, parmi les différentes propositions, quelle(s) est/sont celle(s) que tu considères comme vivant ? :

un chien / une goutte d'eau / un arbre / une fourmi / du sable / l'ADN /
 un ongle / un fruit

Penses-tu qu'il existe des formes de vie en dehors de la Terre ?

oui / non

Selon toi, l'ADN est un composé chimique qui n'est pas vivant :

vrai / faux

Supposons que tu considères l'ADN comme structure vivante, serais-tu confiant si l'on injectait dans ton organisme de l'ADN étranger ? :

oui / non

L'ARN possède une structure semblable à celle de l'ADN. En sachant cette information, l'ARN est-elle une structure vivante selon toi ? :

oui / non

Penses-tu que la vie est possible sans eau ? :

oui / non

Penses-tu qu'un jour, il sera possible pour les humains de vivre éternellement ? :

oui / non

Le terme « vaccin » est né à la fin du 18^e siècle. La vaccination suscite encore aujourd'hui de nombreuses réactions au sein de la population. Quelles sont tes inquiétudes face aux vaccins aujourd'hui ? :

.....
.....
.....
.....

La pandémie liée à la Covid-19 a bouleversé notre quotidien depuis plus d'un an. A présent, des vaccins existent pour lutter contre ce virus. Il existe des vaccins à ARN (*Pfizer*) et des vaccins à ADN (*Astrazeneca*). Dans le cas où tu considères l'ADN/l'ARN comme structures vivantes, cela te dérange-t-il de recevoir une dose du vaccin ? (répondre uniquement si tu considères l'ADN/l'ARN comme structures vivantes) :

oui / non + justifiez

.....
.....
.....
.....

Concrètement, penses-tu recevoir une structure vivante étrangère dans ton organisme lorsque tu es vacciné(e) ? :

oui / non + justifiez

.....

.....

.....

.....

Merci d'avoir pris le temps de répondre à cette étude !

Annexe 3 : Question 1 : Valeurs d'intercept, ANOVA et comparaisons multiples

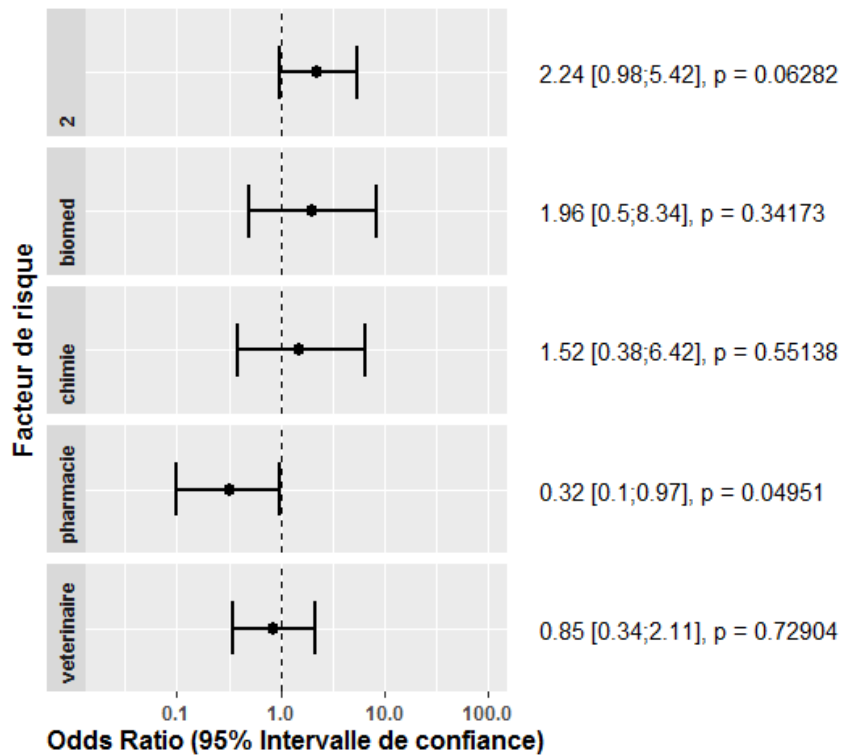
(Intercept)	Sectionbiomed	Sectionchimie	Sectionpharmacie
0.4480824	2.0502213	1.3455280	0.3573467
Sectionveterinaire	SexeM	Niveau.sciences2	
0.9125038	1.4613850	2.1238479	

Analysis of Deviance Table (Type II tests)

Response: Question.1

	LR	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
Section	7.3175	4	0.12003	
Sexe	0.9061	1	0.34115	
Niveau.sciences	3.0945	1	0.07856	.

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1



Annexe 4 : Question 2 : Valeurs d'intercept, ANOVA et comparaisons multiples

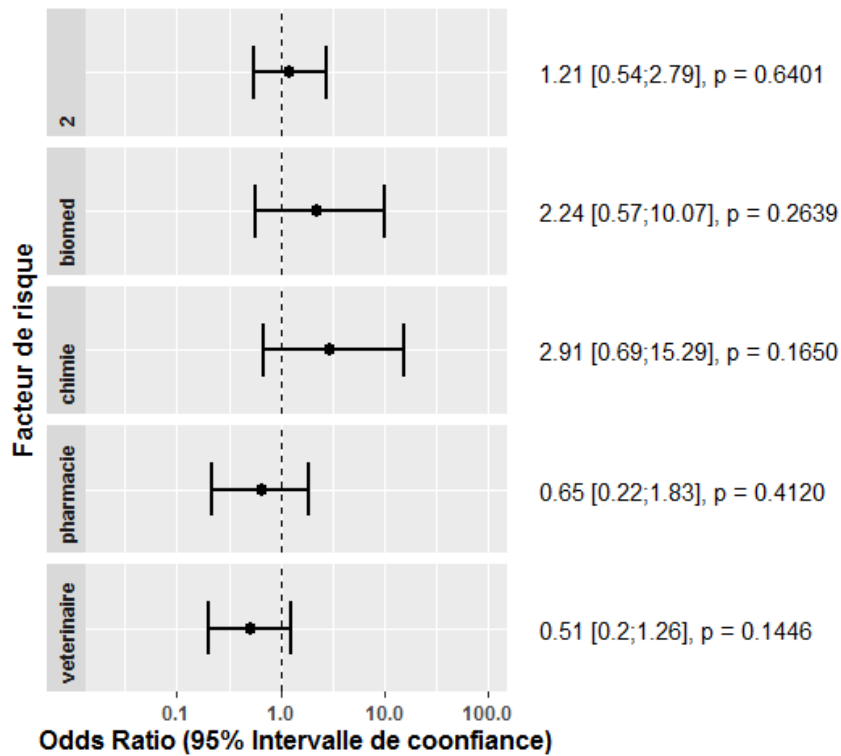
(Intercept)	Sectionbiomed	Sectionchimie	Sectionpharmacie
0.4597994	5.5743008	3.4337942	0.7307933
Sectionveterinaire	SexeM	Niveau.sciences2	
1.8453504	0.7887921	1.7691808	

Analysis of Deviance Table (Type II tests)

Response: Question.2

	LR	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
Section	8.7975	4	0.06637	.
Sexe	1.2973	1	0.25471	
Niveau.sciences	0.0863	1	0.76899	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1



Annexe 5 : Question 3 : Valeurs d'intercept, ANOVA et comparaisons multiples

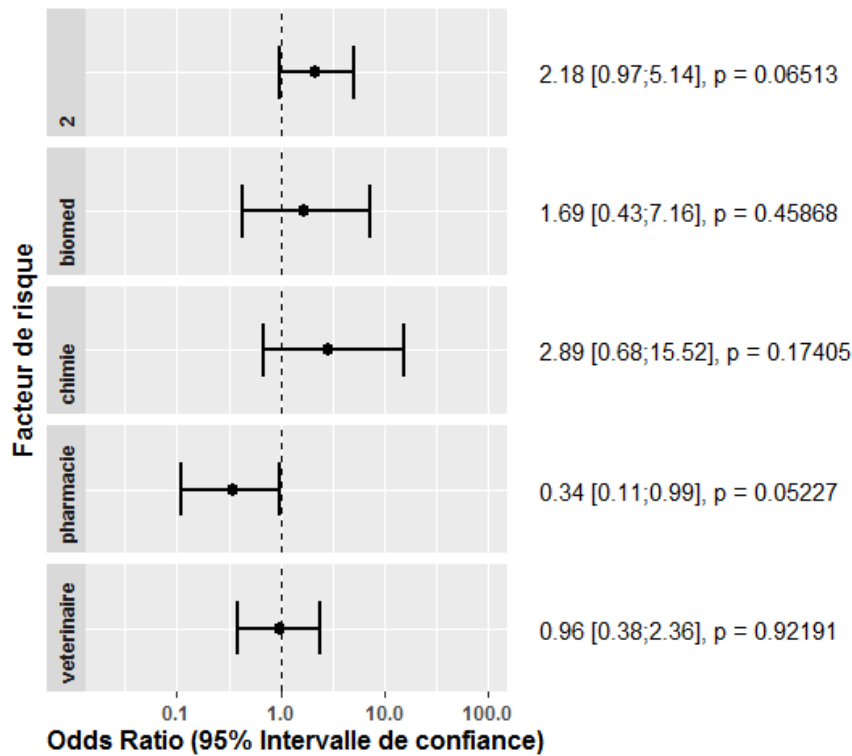
(Intercept)	Sectionbiomed	Sectionchimie	Sectionpharmacie
0.4480824	2.0502213	1.3455280	0.3573467
Sectionveterinaire	SexeM	Niveau.sciences2	
0.9125038	1.4613850	2.1238479	

Analysis of Deviance Table (Type II tests)

Response: Question.3

	LR	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
Section	9.9381	4	0.04148	*
Sexe	0.0178	1	0.89388	
Niveau.sciences	3.3677	1	0.06649	.

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1



Annexe 6 : Question 6 : Valeurs d'intercept, ANOVA et comparaisons multiples

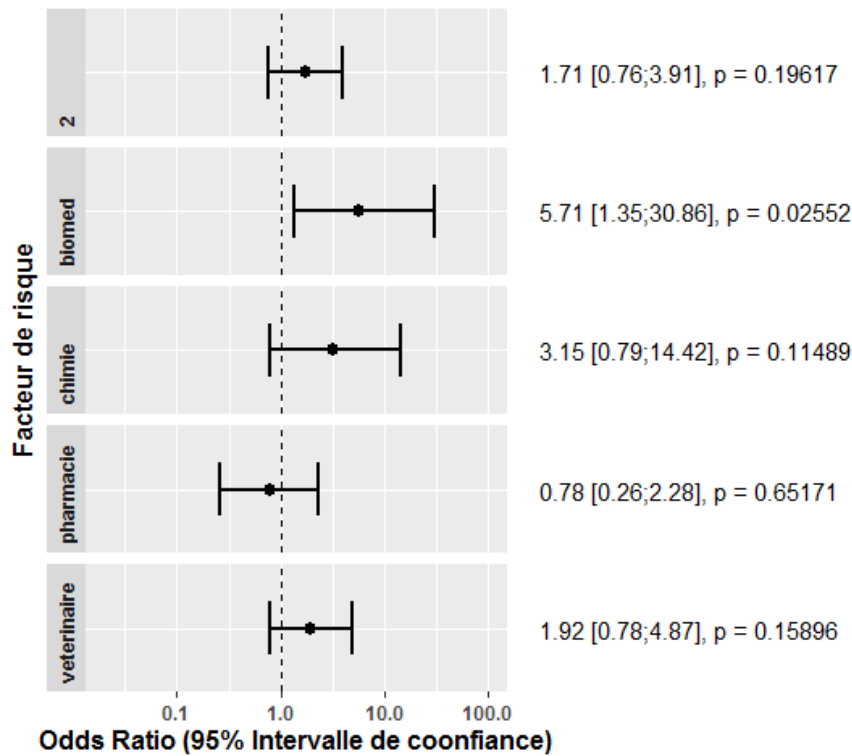
(Intercept)	Sectionbiomed	Sectionchimie	Sectionpharmacie
0.7783650	2.3552808	2.5128189	0.7340185
Sectionveterinaire	SexeM	Niveau.sciences2	
0.5494661	1.5807845	1.1319372	

Analysis of Deviance Table (Type II tests)

Response: Question.6

	LR	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
Section	11.4302	4		0.02213 *
Sexe	0.3441	1		0.55748
Niveau.sciences	1.8843	1		0.16985

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1



Annexe 7 : Question 1 : Valeurs d'intercept, ANOVA

(Intercept)	SexeM	Niveau.sciences
1.227902	4.801658	1.008486

Analysis of Deviance Table (Type II tests)

Response: Question.1

	LR	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
Sexe	3.5350	1	0.06009	.
Niveau.sciences	0.0003	1	0.98693	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Annexe 8 : Question 2 : Valeurs d'intercept, ANOVA

(Intercept)	SexeM	Niveau.sciences
0.9235707	6.0104836	1.0383796

Analysis of Deviance Table (Type II tests)

Response: Question.2

	LR	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
Sexe	4.7521	1	0.02926	*
Niveau.sciences	0.0054	1	0.94153	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Annexe 9 : Question 3 : Valeurs d'intercept, ANOVA

(Intercept)	SexeM	Niveau.sciences
1.229436	3.039310	1.262714

Analysis of Deviance Table (Type II tests)

Response: Question.3

	LR	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
Sexe	1.62053	1	1	0.2030
Niveau.sciences	0.18876	1	1	0.6639

Annexe 10 : Question 6 : Valeurs d'intercept, ANOVA

(Intercept)	SexeM	Niveau.sciences
0.9221375	0.3780852	1.6628025

Analysis of Deviance Table (Type II tests)

Response: Question.6

	LR	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
Sexe	1.6635	1	1	0.1971
Niveau.sciences	1.0366	1	1	0.3086

Annexe 11 : Valeur du test t de Student lié au changement d'avis entre les deux questionnaires

36					
37	Etudiant	Q1 pré-test	Q1 post-test		
38	28082003	1	0		
39	7012002	1	0		
40	21102003	1	0		
41	3102021	1	0		
42	x	1	0		
43	15102003	1	0		
44	17122003	1	1	0,05	
45	25102002	1	1	0,0059168	S
46	6042001	1	1		
47	15012002	1	1		
48	30061999	1	1		
49	29092003	1	1		
50	21052003	1	1		
51	7072004	1	1		
52	7081998	1	1		
53	31032003	1	1		
54	14102000	1	1		
55	11102004	1	1		
56	20062003	1	1		
57	26062003	1	1		
58	22022003	1	1		
59	30012003	1	1		
60	8042003	1	1		
61	26022003	1	1		
62	24112002	1	1		
63	20042002	1	1		
64	11012001	1	1		
65	29082003	1	1		
66	18012003	1	1		
67	30102003	1	1		
68	1012004	1	1		
69	15022003	1	1		
70					
71					
72		32	26		

Annexe 12 : Valeur du test *t* de Student lié à l'amélioration des conceptions entre les deux questionnaires

34					
35					
36					
37	Etudiant	Q1 pré-test	Q1 post-test		
38	28082003	0	0		
39	7012002	0	1		
40	21102003	0	0		
41	3102021	0	0		
42	x	0	1		
43	15102003	0	0		
44	17122003	0	0	0,05	
45	25102002	0	1	0,4229031	NS
46	6042001	1	1		
47	15012002	1	1		
48	30061999	1	1		
49	29092003	1	1		
50	21052003	1	1		
51	7072004	1	1		
52	7081998	1	1		
53	31032003	1	1		
54	14102000	1	1		
55	11102004	1	1		
56	20062003	1	0		
57	26062003	1	1		
58	22022003	1	1		
59	30012003	1	1		
60	8042003	1	1		
61	26022003	1	1		
62	24112002	1	1		
63	20042002	1	1		
64	11012001	1	1		
65	29082003	1	0		
66	18012003	0	0		
67	30102003	1	1		
68	1012004	0	1		
69	15022003	1	1		
70					
71					
72		22	24		
73					

Annexe 13 : Questionnaire de l'interview pour les étudiants

1. Comment tu définirais la vie ? Un organisme vivant ?

- Étudiant en biologie : « *Il y a plusieurs fonctions qui définissent un organisme vivant comme par exemple bouger, s'alimenter, respirer, se reproduire et avoir des cellules.* »
- Étudiant en littérature : « *Il faut être composé de différents types d'organes, la bactérie est aussi un vivant, enfin plus au moins, ça dépend de la fonction de la bactérie et du type. Un être vivant comme au niveau des plantes et donc des chloroplastes qui permettent la photosynthèse, elles peuvent être définies comme vivantes. Et d'autres organismes moléculaires comme les mitochondries chez les animaux qui permettent la respiration cellulaire les font être vivants.* »

2. Pourquoi, lors du pré-test, avoir considéré l'ADN comme non-vivant / vivant ?

- Étudiant en biologie : « *L'ADN est plus un constituant de l'organisme vivant qui va définir ses fonctions plus tard. Le fait aussi que ce soit une succession de bases azotées, donc des composants chimiques (sucres etc) fait qu'il n'est pas vivant.* »

- Étudiant en littérature : « *L'ADN est non vivant. L'ADN est de l'acide désoryribonucléique et donc c'est un composé chimique et donc pas vivant. Dans l'ADN, ce ne sont que des opérations chimiques avec les ponts hydrogènes entre adénine et cytosine par exemple, et aussi les deux autres bases guanine et thymine et donc pour moi ce ne sont que des opérations chimiques et ça ne prouve pas que ce soit un être vivant. Par contre, pour avoir un vivant, il faut avoir de l'ADN, c'est une des caractéristiques pour être vivant.* »

3. Pourquoi, lors du post-test, avoir répondu que l'ADN était non-vivant/ vivant ? Pourquoi avoir éventuellement changé d'avis ?

- Étudiant en biologie : « *Le cours a fait changer mon opinion suivant les explications que j'ai reçues. Il y a quelques détails qui dans le cours me faisait penser que ça pouvait être un vivant. Donc, on part de quelque chose qui n'existe pas (on part du point de départ qui n'est pas vivant, pas de structures etc) et ensuite cet ADN va permettre de structurer le tout pour obtenir un organisme vivant. Et donc, le fait justement que cette molécule d'ADN intervienne dans la formation d'un vivant m'amène à penser que l'ADN est vivant lui aussi.* »
- Étudiant en littérature : « *Pas de changement d'avis, mêmes réponses.* »

4. La considération du vivant ou du non-vivant pour toutes choses a-t-elle de l'importance selon toi ? Pourquoi ?

- Étudiant en biologie : « *Alors ça dépend. Cela n'a pas d'importance parce que si par exemple je rentre dans une pièce, je sais faire la différence entre un vivant (humain) et une chaise (non-vivante). Les interactions que je vais avoir avec ces différentes choses ne seront pas les mêmes (je ne vais pas commencer à parler avec une chaise, on a beaucoup moins d'interactions avec du non-vivant). Si on considérait des éléments objets non-vivants comme vivants d'un coup (un gobelet dans un main d'homme), le gobelet serait considéré comme vivant, à ce moment-là, la société aurait plus de respect (et éviter de le jeter dans la nature par exemple). De manière générale, l'humain respecte plus le vivant que le non-vivant. Dans ce cadre là, la vie (ou la non-vie) est importante puisque nos actions sur ces éléments peuvent varier suivant si elles sont vivantes ou non.* »
- Étudiant en littérature : « *Oui. D'abord en terme éthique ça a de l'importance. Imaginons qu'on trouve une nouvelle espèce dans l'océan et qu'elle possède les principales caractéristiques pour être vivante, mais que nous humains on la catégorise comme non-vivante même suivant une erreur. Le fait de faire un marché sur elle, de pouvoir la tuer sans conséquences pénales du fait que ce soit un objet a de l'importance. Aussi, il y a l'exemple du clonage. C'est théoriquement quelque chose de*

vivant un clone mais est-ce que nous humains allons-nous considérer ça comme quelque chose de vivant ou est-ce qu'on va considérer ça comme une banque de cellules, une banque d'organes. Une cellule selon le clonage n'est pas vivante, uniquement celle qui est clonée, ce ne sera qu'une copie même si elle a toutes les caractéristiques pour être vivante. Une autre raison concerne la rigueur scientifique, il faut quand même pouvoir considérer ce qui est vivant de ce qui ne l'est pas. »

Bibliographie

Alloprof. (2021). *La base du vivant*. Site consulté le 25/02/2021 à l'adresse : <https://www.alloprof.qc.ca/fr/eleves/bv/sciences/la-base-du-vivant-s1237>.

Atlan, H., & Chabert, V. (2008). Éthique et expérimentation dans les sciences du vivant. *Publications du musée des Confluences*, 2(1), 47-56.

Bahar, M., Johnstone, A. H., & Hansell, M. H. (1999). Revisiting learning difficulties in biology. *Journal of Biological Education*, 33(2), 84-86.

Baudier, F., Ferron, C., Prestel, T., & Douiller, A. (2020). Crise de la Covid-19 et vaccination: la promotion de la santé pour plus de confiance et de solidarité. *Sante Publique*, 32(5), 437-439.

Bedau, M. (1996). The nature of life In *The philosophy of artificial life*, edited by M. Boden, 332-360.

Bélanger, M. (2009). Du changement conceptuel à la complexification conceptuelle dans l'apprentissage des sciences.

Bolon, I., Cantoreggi, N., Simos, J., & Ruiz De Castañeda, R. (2018). Espaces verts et forêts en ville: Bénéfices et risques pour la santé humaine selon l'approche « Une seule santé » (One Health). *Revue forestière française*.

Bonache, A. B. (2018). Puissance statistique des tests et date de publication: une corrélation trompeuse?. *Comptabilite Controle Audit*, 24(1), 13-41.

Breda, T. (2014). 5. Pourquoi y a-t-il si peu de femmes en science?. *Regards croisés sur l'économie*, (2), 99-116.

Buschen, J., Deckers, G., Degosserie, N., & Hanique, S. (2017). *Essentia*. Plantyn.

Cain, M. L., Damman, H., Lue, R. A., & Yoon, C. K. (2006). *Découvrir la biologie*. De Boeck Supérieur.

Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2004). *Biologie*, 2nd edn, French trans. Mathieu Richard, Brussels: De Boeck Université.

Canguilhem, G. (1966). Le concept et la vie. *Revue philosophique de Louvain*, 64, 193-223.

Canoui, E., & Launay, O. (2019). Histoire et principes de la vaccination. *Revue des maladies respiratoires*, 36(1), 74-81.

Caravita, S., & Falchetti, E. (2005). Are bones alive?. *Journal of Biological Education*, 39(4), 163-170.

Carvunis, A. R., Gomez, E., Thierry-Mieg, N., Trilling, L., & Vidal, M. (2009). Biologie systémique-Des concepts d'hier aux découvertes de demain. *Médecine/sciences*, 25(6-7), 578-584.

- Castellini, O. M., Walejko, G. K., Holladay, C. E., Theim, T. J., Zenner, G. M., & Crone, W. C. (2007). Nanotechnology and the public: Effectively communicating nanoscale science and engineering concepts. *Journal of Nanoparticle Research*, 9(2), 183-189.
- Chan, Y. A., & Zhan, S. H. (2022). The emergence of the spike furin cleavage site in SARS-CoV-2. *Molecular biology and evolution*, 39(1), msab327.
- Charneux, A., Linart, B., Loriaux, E., Meunier, N. & Hordies (2016). *Neurones*. Van In.
- Cottinet, D. (2013). *Diversité phénotypique et adaptation chez Escherichia Coli étudiées en millifluidique digitale* (Doctoral dissertation, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI).
- Cundy, A. S., & Shin, G. (2017). *Découvrir la biologie*. De Boeck Supérieur.
- Dahmani, H. R., & Schneeberger, P. (2011). Enseigner le concept d'ADN en lien avec la démarche historique: un processus de modélisation négociée. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (3), 55-82.
- Dell'Angelo-Sauvage, M., Bernard, M. C., & de Montgolfier, S. (2016). Analyse des enjeux relatifs au vivant dans les programmes scolaires français et québécois. *Spirale-Revue de recherches en éducation*, (2), 35-52.
- Destoumieux-Garzón, D., Mavingui, P., Boetsch, G., Boissier, J., Darriet, F., Duboz, P., ... & Voituron, Y. (2018). The one health concept: 10 years old and a long road ahead. *Frontiers in veterinary science*, 14.
- Draelants, H. (2014). Des héritiers aux initiés? Note sur les nouvelles modalités de la reproduction sociale par l'école. *Social Science Information*, 53(3), 403-432.
- Drane, D., Swarat, S., Light, G., Hersam, M., & Mason, T. (2009). An evaluation of the efficacy and transferability of a nanoscience module. *Journal of Nano Education*, 1(1), 8-14.
- Felouzis, G. (2001). *La condition étudiante: sociologie des étudiants et de l'université*. Presses universitaires de France.
- Feraoun, Y., Maisonnasse, P., Le Grand, R., & Beignon, A. S. (2021). COVID-19, des vaccins à la vitesse de l'éclair. *médecine/sciences*, 37(8-9), 759-772.
- Fortin, C. (2018). Le statut épistémique du vivant dans les nouveaux curriculums français de la scolarité obligatoire. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (18), 35-56.
- Galibert, F. (2021). Les vaccins à ARN anti-COVID-19. *Bulletin De L'Academie Nationale De Medecine*, 205(3), 199.
- Gallezot, M. (2018). Vie, vivant, biodiversité: quelles approches? Quelles prises en charge scolaire?. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (18), 9-34.
- Gilliquet, V., Tavernier, R. & Lizeaux., C. (2012). *Biologie*. De Boeck.

- Gregory, S. G., Barlow, K. F., McLay, K. E., Kaul, R., Swarbreck, D., Dunham, A., ... & Coulson, A. (2006). The DNA sequence and biological annotation of human chromosome 1. *Nature*, 441(7091), 315-321.
- El-Hani, C. N. (2008). Theory-based approaches to the concept of life. *Journal of Biological Education*, 42(4), 147-149.
- Hulo, C., De Castro, E., Masson, P., Bougueleret, L., Bairoch, A., Xenarios, I., & Le Mercier, P. (2011). ViralZone: a knowledge resource to understand virus diversity. *Nucleic acids research*, 39(suppl_1), D576-D582.
- Jankowski, R. (2020). Virus et épidémies virales dans la théorie métabolique de l'évolution. *Annales françaises d'Oto-rhino-laryngologie et de Pathologie Cervico-faciale*, 137(4), 275-279.
- Jeannin, M. (2016). *Les obstacles à la vaccination antigrippale des professionnels de santé libéraux: une étude qualitative par focus group* (Doctoral dissertation, Éditeur inconnu).
- Kin, N., & Vabret, A. (2016). Les infections à coronavirus humains. *Revue francophone des laboratoires*, 2016(487), 25-33.
- Khan Academy. (2021). *Qu'est-ce que la vie ?* Site consulté le 25/02/2021 à l'adresse : <https://fr.khanacademy.org/science/high-school-biology/hs-biology-foundations/hs-biology-and-the-scientific-method/a/what-is-life>.
- Kostyrka, G. (2018). *La place des virus dans le monde vivant* (Doctoral dissertation, Université Panthéon-Sorbonne-Paris I).
- Lambert, J. P. (2015). Choix des orientations d'études et besoins de la société. *Reflets et Perspectives de la vie économique*, 54(4), 121-152.
- Lansing M., Prescott, John P., Harley, & Klein, D. A. (2003). *Microbiologie*. De Boeck.
- Lawson, A. E., Alkhoury, S., Benford, R., Clark, B. R., & Falconer, K. A. (2000). What kinds of scientific concepts exist? Concept construction and intellectual development in college biology. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 37(9), 996-1018.
- Lechermeier, G. (2015). *Définition du vivant et émergence de la vie: entre rupture et continuité, saisir l'originalité du vivant* (Doctoral dissertation, Paris 1).
- Lecointre, G., & Le Guyader, H. (2001). *Classification phylogénétique du vivant*. Belin.
- Le Gall, R. (2019). *Réductionnisme et holisme: deux approches du vivant incompatibles?*
- Lemaire, M. (2018). *Évolution des représentations initiales de la génétique d'élèves de cinquième secondaire à la suite de la situation d'apprentissage et d'évaluation Là où il n'y a pas de gènes* (Doctoral dissertation, Université du Québec à Trois-Rivières).
- Lerner, H., & Berg, C. (2015). The concept of health in One Health and some practical implications for research and education: what is One Health?. *Infection ecology & epidemiology*, 5(1), 25300.

Lesne, A. (2009). Biologie des systèmes - L'organisation multiéchelle des systèmes vivants. *Médecine/sciences*, 25(6-7), 585-587.

Luck, G. W., Davidson, P., Boxall, D., & Smallbone, L. (2011). Relations between urban bird and plant communities and human well-being and connection to nature. *Conservation Biology*, 25(4), 816-826.

Marbach-Ad, G., & Stavy, R. (2000). Students' cellular and molecular explanations of genetic phenomena. *Journal of Biological Education*, 34(4), 200-205.

Moriyama, E. H., Zheng, G., & Wilson, B. C. (2008). Optical molecular imaging: from single cell to patient. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*, 84(2), 267-271.

Mossio, M., & Umerez, J. (2014). *Réductionnisme, holisme et émergentisme*.

Nichol, S. T. B. B. J., Beaty, B. J., Elliot, R. M., Goldbach, R., Pljusnin, A., Schmaljohn, C. S., & Tesh, R. B. (2005). *VIIIth report of the International Committee on Taxonomy of Viruses*. In *Virus taxonomy: VIIIth report of the International Committee on Taxonomy of Viruses* (pp. 695-716). Elsevier Academic Press.

Raven, P. Johnson, G. B., H., Mason, K. A., Losos, J. B., & Singer, S. R. (2014). *Biologie*, 2nd edn, France: De Boeck Supérieur, 825-837.

Reverdy, C. (2018). Les recherches en didactique pour l'éducation scientifique et technologique. *Dossier de veille de l'IFÉ*, n° 122.

Rouban, L. (2021). Comprendre les échecs de la communication publique lors de la crise sanitaire. *Parole publique*, (28), 15-16.

Science et Vie. (2018). *Qu'est-ce que la vie ?* Site consulté le 25/02/2021 à l'adresse : <https://www.science-et-vie.com/archives/qu-est-ce-que-la-vie-32390#:~:text=Les%20biologistes%20consid%C3%A8rent%20vivant%20un,pour%20r%C3%A9pondre%20%C3%A0%20nos%20questions>.

Simonneaux, L. (2000). A study of pupils' conceptions and reasoning in connection with 'microbes', as a contribution to research in biotechnology education. *International journal of science education*, 22(6), 619-644.

Smith, E. L., Blakeslee, T. D., & Anderson, C. W. (1993). Teaching strategies associated with conceptual change learning in science. *Journal of Research in Science teaching*, 30(2), 111-126.

Sterner, T., Barbier, E. B., Bateman, I., van den Bijgaart, I., Crépin, A. S., Edenhofer, O., ... & Robinson, A. (2019). Policy design for the Anthropocene. *Nature Sustainability*, 2(1), 14-21.

Stevens, A. (2000). *L'ontologie d'Aristote au carrefour du logique et du réel*. Vrin.

Thompson, L. R., Zeng, Q., Kelly, L., Huang, K. H., Singer, A. U., Stubbe, J., & Chisholm, S. W. (2011). Phage auxiliary metabolic genes and the redirection of cyanobacterial host carbon metabolism. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(39), E757-E764.

Tournier, J. N. (2021). Chapitre 4. Le vivant paradigme des systèmes dissipatifs. In *Le vivant décodé* (pp. 55-68). EDP Sciences.

Tricot, M. (2004). Les automates: de l'âge classique à la cybernétique. In *Journée d'études" nature, science et philosophie"*.

Tsokolov, S. A. (2009). Why is the definition of life so elusive? Epistemological considerations. *Astrobiology*, 9(4), 401-412.

Université de Namur, (2022). *Cours préparatoires*. Site consulté le 15/05/2022 à l'adresse : <https://www.unamur.be/etudes/rheto/courspreparatoires/index>.

Victor, J. M. (2012). La structure de l'ADN en double hélice. *Bibnum. Textes fondateurs de la science*.

Wallonie-Bruxelles, F., & des Données, D. D. E. (2020). Les indicateurs de l'enseignement 2020.

Ward, J. K., Gauna, F., Gagneux-Brunon, A., Botelho-Nevers, E., Cracowski, J. L., Khouri, C., ... & Peretti-Watel, P. (2022). The French health pass holds lessons for mandatory COVID-19 vaccination. *Nature medicine*, 1-3.

Watson, J. D., & Crick, F. H. (1953). Molecular structure of nucleic acids: a structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature*, 171(4356), 737-738.

Weinan, E. (2011). *Principles of multiscale modeling*. Cambridge University Press.

White, M. P., Alcock, I., Wheeler, B. W., & Depledge, M. H. (2013). Would you be happier living in a greener urban area? A fixed-effects analysis of panel data. *Psychological science*, 24(6), 920-928.

Willett, G. (1996). Paradigme, théorie, modèle, schéma: qu'est-ce donc?. *Communication et organisation. Revue scientifique francophone en Communication organisationnelle*, (10).

Witzig, S. B., Freyermuth, S. K., Siegel, M. A., Izci, K., & Pires, J. C. (2013). Is DNA alive? A study of conceptual change through targeted instruction. *Research in Science Education*, 43(4), 1361-1375.