

THESIS / THÈSE

MASTER EN BIOLOGIE DES ORGANISMES ET ÉCOLOGIE

Le jeu coopératif « Mission Yellowstone » permet-il de réaliser des apprentissages concernant le concept d'espèce « clé de voûte » et de « cascade trophique » ?

Roiseux, Antoine

Award date:
2022

Awarding institution:
Universite de Namur
Université Catholique de Louvain

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Université catholique
de Louvain
École de biologie



Université de Namur
Département de
biologie

Le jeu coopératif « Mission Yellowstone » permet-il de réaliser des apprentissages concernant le concept d'espèce « clé de voûte » et de « cascade trophique » ?

Roiseux Antoine

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

Promoteur : Vervoort Arnaud

Travail réalisé au sein de la Cellule Didactique
de Biologie de l'Université de Namur

Année académique 2021–2022

Remerciements

Je tiens à remercier Arnaud Vervoort pour avoir accepté de me proposer ce mémoire suite à mon changement de sujet lors du premier confinement. Je tiens également à le remercier pour son encadrement et ses conseils ainsi que pour le temps qu'il m'a consacré durant ces deux années. Je remercie Guillaume Bernard pour son aide précieuse dans la recherche d'écoles et pour la réalisation de mes tests en classe. Je le remercie aussi pour son suivi régulier durant l'absence de mon promoteur. Je remercie également la cellule didactique de biologie de l'Université de Namur pour m'avoir permis de calibrer mon jeu lors de sa conception. Finalement, je remercie ma famille et mes amis pour l'aide qu'ils m'ont fourni lors de la fabrication de mes dispositifs. Leur soutien m'a été bénéfique durant tout mon parcours et lors de la réalisation de ce mémoire.

Résumé

Suite à différentes actions anthropiques, une diminution de la biodiversité concernant ses trois niveaux peut être remarquée. Comprendre finement le concept de biodiversité nécessite de s'intéresser aux interactions que les espèces entretiennent au sein d'un réseau complexe appelé écosystème. Certaines espèces, appelées « clé de voûte », jouent un rôle structurant au sein des écosystèmes, ce qui permet ainsi de les maintenir dans un état de stabilité en régulant les populations d'autres espèces. Si la population d'une espèce clé de voûte diminue jusqu'à un certain seuil, cela entraîne des fluctuations majeures dans les populations d'autres espèces. L'écosystème peut alors subir de grandes modifications comme ce fut le cas du Parc National du Yellowstone aux États-Unis d'Amérique suite à la disparition du loup.

L'éducation à l'écologie est un processus mis en place dans les cursus scolaires afin de permettre aux êtres humains de mieux comprendre le monde qui les entoure, ses dynamiques et ses enjeux. Le but de ce mémoire sera de mettre en place une activité pédagogique sous forme d'un jeu de plateau et de répondre à la question de recherche suivante : « Le jeu coopératif « Mission Yellowstone » permet-il de réaliser des apprentissages concernant le concept d'espèce « clé de voûte » et de « cascade trophique » lors d'une leçon sur l'écologie en 6ème secondaire sciences générales ? ».

Ce dispositif pédagogique a été utilisé dans plusieurs écoles de la fédération Wallonie-Bruxelles afin de récolter des données via deux questionnaires remplis par les élèves. Un pré-test a ainsi permis de récolter des données concernant l'état des connaissances avant l'activité. Un post-test a ensuite permis d'estimer l'évolution de ces connaissances suite à l'activité. Un troisième questionnaire concernait l'expérience de jeu des apprenants.

Les résultats semblent indiquer que le jeu permet d'acquérir relativement bien la notion d'espèce « Clé de voûte » mais qu'il ne semble pas assez pertinent ou complet pour celle de « Cascade trophique ». De manière générale, cette méthode a été perçue favorablement par les apprenants. De plus, le jeu a permis de mobiliser certaines soft-skills, ce qui fait penser que ce jeu peut avoir un potentiel plus large que l'acquisition de connaissances théoriques.

Abstract

As a result of various human actions, a decrease in biodiversity can be observed at its three levels. An in-depth understanding of the concept of biodiversity requires looking at the interactions that species have within a complex network called an ecosystem. Some species, called “keystone species”, play a structuring role within ecosystems, which allows them to maintain in a stable state by regulating the populations of other species. If the population of a keystone species decreases to a certain level, it causes major fluctuations in the populations of other species. The ecosystem can then undergo major changes as was the case in Yellowstone National Park in the USA following the disappearance of the wolf.

Ecological education as part of school curricula, aims at supporting human beings better understand the world around them, its dynamics and its issues. The goal of this thesis is to set up a pedagogical activity in the form of a board game and to answer the following research question: "Does the cooperative game "Mission Yellowstone" allow for learning about the concept of "keystone" species and "trophic cascade" during a lesson on ecology in the 6th grade of secondary school?

This pedagogical device has been applied in several schools in the Wallonia-Brussels federation. Questionnaire data were collected from the students, both before and after the lesson. A pre-test was used to collect data on the state of knowledge before the activity. A post-test was then used to estimate the evolution of this knowledge following the activity. A third questionnaire explicitly explored the learners' experience of the game.

The results suggest that the game does a relatively good job in facilitating the acquisition of the concept of "keystone" species, but does not seem relevant or complete enough for a good mastery by the students of the concept "trophic cascade". In general, this method was perceived favourably by the learners. In addition, the game was able to mobilize certain soft skills, suggesting that this game may have a broader educational potential than the acquisition of theoretical knowledge.

Table des matières

1.	Introduction	1
1.1.	Diminution de biodiversité	1
1.1.1.	Espèce clé de voûte et cascade trophique	2
1.1.2.	Loup du Yellowstone	4
1.2.	L'apprentissage de l'écologie.....	6
1.2.1.	Utilité.....	6
1.2.2.	Caractéristiques	6
1.2.3.	Difficultés rencontrées par les élèves face à l'écologie.....	7
1.2.4.	Différenciation pédagogique ou pédagogie différenciée.....	8
1.3.	Le jeu comme source d'apprentissage.....	9
1.3.1.	Pédagogie du jeu.....	9
1.3.2.	Jeux en biologie.....	12
1.4.	Jeux coopératifs.....	14
1.4.1.	La coopération.....	14
1.4.2.	Explication et caractéristiques du jeu coopératif.....	16
1.5.	Objectif de la recherche.....	18
2.	Matériel et méthode.....	18
2.1.	Test préliminaire.....	18
2.2.	Sites d'étude	18
2.3.	Descriptif du jeu	18
2.4.	Déroulé de la simulation.....	21
2.5.	Période en classe	21
2.6.	Questionnaires	23
2.6.1.	Généralités.....	23
2.6.2.	Pré-test.....	23
2.6.3.	Post-test	25
2.7.	Tri des réponses.....	28
2.7.1.	Pré et post-test (question 1 à 5b)	28
2.7.2.	Outil psychométrique (échelle de Likert).....	29
2.8.	Analyse.....	29
3.	Résultats	31
3.1.	Pré-test.....	31
3.2.	Post-test (partie théorique)	33
3.3.	Comparaison résultats pré et post-test.....	35

3.4.	Questions avec indice	36
3.5.	Questions de métacognition	37
3.6.	Outil psychométrique (échelle de Likert).....	38
4.	Discussion	40
4.1.	Analyse et comparaison du pré et post-test	40
4.2.	Question Pré/Post clé de voûte	42
4.3.	Question Pré/Post cascade.....	43
4.4.	Question Pré/Post lien	43
4.5.	Question de métacognition	44
4.6.	Différenciation pédagogique	45
4.7.	Outil psychométrique (échelle de Likert).....	46
4.8.	Soft-skills.....	48
4.9.	Limites du jeu.....	50
5.	Conclusion.....	51
6.	Bibliographie.....	53
7.	Annexes	59

1. Introduction

1.1. Diminution de biodiversité

Le terme de biodiversité peut être défini, d'après Pullin (2002) comme « La variété des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces, entre espèces et des écosystèmes (Article 2, Biodiversity Convention in Pullin 2002) ».

La biodiversité donc peut être décrite suivant 3 niveaux. Tout d'abord au niveau génétique que l'on pourrait nommer la diversité génétique ou intraspécifique. C'est-à-dire les différences génétiques entre les individus d'une même espèce (Guyader, 2008; Pullin, 2002).

Le deuxième niveau décrivant la biodiversité, est la diversité interspécifique ou entre les espèces (Guyader, 2008; Pullin, 2002). Une espèce est « une population ou un ensemble de populations dont les individus peuvent effectivement ou potentiellement se reproduire entre eux et engendrer une descendance viable et féconde, dans des conditions naturelles. Ainsi, l'espèce est la plus grande unité de population au sein de laquelle le flux génétique est possible et les individus d'une même espèce sont donc génétiquement isolés d'autres ensembles équivalents du point de vue reproductif » (Mayr, 1942). En effet, chaque espèce est différente et est le résultat d'un laps de temps évolutif équivalant créant par la même occasion une grande diversité (Guyader, 2008; Mace, 2005).

L'ensemble des écosystèmes représente le troisième niveau de biodiversité (Guyader, 2008; Pullin, 2002). L'écosystème peut être défini comme étant une communauté d'organismes vivants en relation les uns avec les autres et soumis aux mêmes contraintes abiotiques (Guyader, 2008).

Actuellement, la biodiversité est en déclin. Plusieurs impacts anthropiques en sont responsables, notamment la destruction et dégradation des habitats, l'introduction d'espèces exotiques envahissantes, la pollution, le réchauffement climatique et la surexploitation (Mazor et al., 2018). Ces perturbations diminuent la résilience des écosystèmes définie comme leur capacité, suite à une perturbation, à revenir à un état similaire que ce soit au niveau de ses structures ou ses fonctions. Plus il y a d'organismes aux fonctions similaires et complémentaires en son sein et plus cette capacité de résilience sera grande (Gunderson, 2000; Weiskopf et al., 2020). Les

différents impacts anthropiques peuvent également toucher les espèces rendant des services écosystémiques c'est-à-dire les fonctions d'un écosystème contribuant favorablement à la quantité de vie humaine. Un des cas les plus connus est la pollinisation des fleurs par les abeilles qui permet de produire des fruits et légumes contribuant ainsi à la diversification alimentaire support d'un meilleur état de santé (Lamarque et al., 2011; Weiskopf et al., 2020). Il peut s'avérer utile de s'intéresser à la position (interconnexion et interdépendance) particulière des espèces au sein des réseaux trophiques des écosystèmes afin d'en comprendre la diversité fonctionnelle (Jordán, 2009). Un réseau trophique est un ensemble d'espèces ayant chacune un niveau trophique attribué et ayant des connexions les unes avec les autres suivant des relations proies-prédateurs (Moutsinas et al., 2019). Ce mémoire va s'intéresser au rôle des espèces « clé de voûte » car quand les populations de celles-ci diminuent, ceci peut avoir pour conséquence de déstructurer l'écosystème et de l'amener vers un autre état (GREGG et al., 2020).

1.1.1. Espèce clé de voûte et cascade trophique

Ce terme a été employé la première fois par Paine R. T. en 1969. Dans son écrit il cite : « La composition et l'aspect physique des espèces ont été fortement modifiés par les activités d'une seule espèce indigène située en haut de la chaîne alimentaire. Ces populations individuelles sont la clé de voûte de la structure de la communauté, et l'intégrité de la communauté ainsi que sa persistance inaltérée dans le temps sont déterminées par leurs activités et leur abondance. ». Comme on peut le voir dans cette citation, le concept d'espèce clé de voûte définissait en premier temps un prédateur apex. Cependant, sa définition a changé au cours du temps pour devenir celle expliquée dans le paragraphe suivant (Hale & Koprowski, 2018; Mills et al., 1993; Paine, 1969).

Une espèce clé de voûte est définie par les écologistes comme une espèce jouant un rôle majeur vis-à-vis de la répartition des autres populations d'un écosystème. Sa disparition entraîne de lourdes conséquences pouvant aller jusqu'à la modification de cet écosystème d'un état de stabilité vers un autre état. Cette espèce joue également un rôle dans la richesse et la régulation des autres espèces sans pour autant être la plus abondante (Hale & Koprowski, 2018; Lavalley, 2018; Mills et al., 1993; Üçüncü et al., 2020).

Ces espèces présentent un intérêt certain en conservation du fait que leur protection assure indirectement le maintien de l'écosystème dans son état. Le changement d'état peut amener de lourdes perturbations et avoir un impact considérable sur les services écosystémiques fournis (GREGG et al., 2020; Hale & Koprowski, 2018; Mills et al., 1993).

Il existe quatre types d'espèce clé de voûte ; les herbivores, les mutualistes, les ingénieurs d'écosystème et les prédateurs.

Les espèces d'herbivores considérées comme espèce clé de voûte vont assurer le maintien de l'expansion des plantes dont ils se nourrissent. Cela va avoir indirectement un effet positif sur la biodiversité présente (Greenwald et al., 2008; Hale & Koprowski, 2018; Mills et al., 1993).

Les espèces clé de voûte dites mutualistes sont considérées comme telles dans des relations où le mutualisme intervient, c'est-à-dire une relation bénéfique pour les différentes espèces de celle-ci. Ces espèces clé de voûte ont un rôle critique dans la relation et les espèces en présence. Dans ces espèces, on peut recenser les pollinisateurs ou les mycorhizes (Mills et al., 1993 ; Vicent, 2021).

Les espèces clé de voûte dites ingénieurs d'écosystème vont avoir un effet direct et physique sur leur habitat en modifiant sa structure ou ses conditions abiotiques. Cette modification va permettre à d'autres espèces d'intégrer également ces habitats. La modification peut être autogène, c'est-à-dire, que l'organisme de l'espèce l'applique directement comme par exemple les palétuviers dont la présence implique la structuration d'un écosystème particulier appelé mangrove ou alors allogène, c'est-à-dire que l'espèce va engendrer la modification comme les termites construisant des termitières indispensables pour la vie d'autres espèces (Hale & Koprowski, 2018; Mills et al., 1993 ; Vicent, 2021).

Finalement, les espèces clé de voûte dites prédateurs vont permettre une régulation des proies ainsi que d'autres prédateurs. Leur effet est également visible sur les végétaux. En effet, si les proies herbivores n'étaient pas régulées, elles consommeraient en excès les végétaux. Parmi ces espèces on peut citer certaines étoiles de mer ou le loup. Il faut tout de même préciser que la consommation excessive de végétaux va amener une certaine régulation des herbivores voyant leur nourriture diminuer (Hale & Koprowski, 2018; Lavallee, 2018; Mills et al., 1993 ; Vicent, 2021).

La disparition d'une espèce clé de voûte engendre toujours une cascade trophique (Jordán, 2009; Lavallee, 2018).

Le concept de cascade trophique a lui aussi évolué au fil du temps. R.T. Paine (1980) a défini ce concept comme la conséquence d'une variation de la population du prédateur apex engendrant une fluctuation inverse dans la population du maillon le précédent dans la chaîne trophique. Ce deuxième changement de population va, à son tour, impacter le maillon le

précédent en engendrant une fluctuation inverse de la population (Lavallee, 2018; Ripple & Beschta, 2012 ; Ripple et al., 2016). Par la suite, ce concept, qui à la base n'était défini que par des conséquences « descendantes » ou « top-down » a évolué pour inclure également les effets qu'il peut y avoir vers le haut ou « bottom-up » mais également dans le reste du réseau trophique (Ripple et al., 2016; Terborgh et al., 2006).

Dans le cadre de ce mémoire, le loup gris (*Canis lupus*) sera l'espèce clé de voûte étudiée dans l'écosystème à dominance de forêt subalpine du Parc National du Yellowstone aux États-Unis d'Amérique.

1.1.2. Loup du Yellowstone

Le loup gris (*Canis lupus*) dans le Parc National de Yellowstone a vu sa population disparaître en 1926 à cause de la chasse. Cette disparition a engendré une cascade trophique et un déclin de biodiversité a pu être observé au niveau des population d'espèces présentes. La réintroduction du loup gris en 1995 a permis un regain de biodiversité dans le parc au cours des années qui suivirent comme le montre la figure 1. Il est considéré comme une espèce clé de voûte dans son écosystème car il régule les populations de grands herbivores comme les wapitis (*Cervus canadensis*) et induit des changements de comportement de la part des plus petits prédateurs tels que les coyotes (*Canis latrans*). En présence du loup, ces derniers adaptent leurs méthodes de chasse afin de les éviter (Lavallee, 2018; Ripple & Beschta, 2003, 2012).

Lors de la disparition du loup, la population de wapiti a fortement augmenté, consommant de manière excessive la végétation comme le saule (*Salix spp.*), le peuplier (*Populus tremuloides*) ou le ray-grass (*Lolium perenne L.*) gênant la régénération naturelle de la forêt altérant ainsi l'écosystème. La diminution de la strate arborée a également impacté d'autres espèces comme le castor (*Castor canadensis*). Le manque de végétation a entraîné une érosion des sols provoquant des changements de direction des cours d'eau. L'augmentation des coyotes a quant à elle fait chuter les populations d'autres petits mammifères tels que le lapin (*Sylvilagus floridanus*) ou le spermophile (*Callospermophilus lateralis*) (Lavallee, 2018; Ripple & Beschta, 2003, 2012).

Dans ce mémoire, le cas du loup de Yellowstone comme espèce clé de voûte sera le point de départ de l'activité proposée. Ce cas a été choisi car il a été bien documenté et que le loup est une espèce emblématique et connue des élèves. En outre, la modification profonde de cet

écosystème sur une durée relativement courte permet de rendre les concepts d'espèces « clé de voûte », de « cascade trophique » ainsi que le lien entre les deux plus concret.



Figure 1. Evolution de la flore du Parc National du Yellowstone en 1997, deux années après la réintroduction du loup, en 2001 et en 2010 (Ripple & Beschta, 2012).

1.2.L'apprentissage de l'écologie

1.2.1. Utilité

L'être humain fait partie intégrante de l'environnement. Une éducation vis-à-vis de celui-ci a donc vu progressivement le jour et a évolué au cours du temps. Après avoir abordé les différentes conséquences citées dans le point « 1.1. Diminution de biodiversité », cette éducation prend davantage sens. Afin que l'être humain puisse vivre de manière optimale dans cet environnement, il est indispensable de proposer, dès le début du cursus scolaire, un apprentissage ciblé. Il va permettre de mettre en place et de renforcer une conscience et une éthique de l'environnement en plus de la culture et la connaissance (Sauvé, 2009). Afin que les élèves puissent se rendre compte de l'organisation et de la dynamique du vivant, il est nécessaire qu'une partie de cet enseignement relatif à l'environnement soit un apprentissage de l'écologie. Cela va leur permettre d'acquérir des connaissances théoriques sur les organismes dans leur écosystème ainsi que les dynamiques et processus à l'œuvre au sein de ces derniers (Castagneyrol & Cestas, 2021).

1.2.2. Caractéristiques

Certains documents traitant d'une éducation relative à l'environnement mentionnent qu'il est préférable de parler d'apprentissage de savoirs et savoir-faire que d'éducation qui pourrait se définir comme « Un processus traditionnel d'instruction scolaire. » (Sauvé, 2007). L'éducation relative à l'environnement doit viser tout public comme il a été énoncé lors de la conférence de Stockholm en 1972 : « Les organismes des Nations Unies, en particulier l'Unesco, et les autres institutions internationales intéressées prennent, après consultation et d'un commun accord, les dispositions nécessaires pour établir un programme éducatif international d'enseignement interdisciplinaire, scolaire et extra-scolaire, relatif à l'environnement, couvrant tous les degrés d'enseignement et s'adressant à tous, jeunes et adultes, en vue de leur faire connaître l'action simple qu'ils pourraient mener, dans les limites de leurs moyens, pour gérer et protéger leur environnement. » (UNESCO, 1986). Dans ce mémoire, seuls les élèves de 6ème secondaire en sciences générales seront visés.

Cet apprentissage peut se faire sous trois aspects, « Par et dans l'environnement », « Pour l'environnement » et « Au sujet de l'environnement » (Girault & Fortin-Debart, 2006; Girault & Sauve, 2008; Lucas, 1980). L'apprentissage de l'écologie se situe dans ce dernier (Castagneyrol & Cestas, 2021).

L'apprentissage par et dans l'environnement se rapporte à une imprégnation de l'environnement qui nous entoure. Dans le cadre d'un cours, par exemple, cela pourrait se traduire par une visite de terrain ou une excursion dans la nature. Cela permet un contact direct ainsi qu'une interaction avec l'environnement (Girault & Fortin-Debart, 2006; Girault & Sauve, 2008; Lucas, 1980).

L'apprentissage pour l'environnement consiste à mettre ce dernier au centre des débats afin d'apprendre à résoudre des problèmes ou des situations de façon la plus favorable possible du point de vue écologique. Il s'agit entre autres de comprendre son impact en vue de le limiter (Girault & Fortin-Debart, 2006; Girault & Sauve, 2008; Lucas, 1980).

L'apprentissage au sujet de l'environnement est un enseignement uniquement théorique de ce qui nous entoure comme le fonctionnement des écosystèmes (Girault & Fortin-Debart, 2006; Girault & Sauve, 2008; Lucas, 1980). D'après Sauvé (1997), « Il s'agit de l'acquisition de connaissances relatives à l'environnement et des habilités requises pour acquérir ces connaissances. L'environnement est objet d'apprentissage. ». Cette forme d'apprentissage est dominante dans les établissements scolaires même si les enseignants tentent de changer cela en incluant par exemple des sorties de terrain. En effet, l'apprentissage de l'écologie se limite souvent à une suite de définitions décrivant les différents concepts vus. Les exemples concrets qui peuvent être illustrés sont régulièrement descriptifs (Ayotte-Beaudet et al., 2021; Castagn yrol & Cestas, 2021; Magro et al., 2003). C'est ce type d'enseignement qui sera qualifié de « magistral » dans la suite du texte.

Le dispositif proposé par ce mémoire se limitera à un apprentissage au sujet de l'environnement.

1.2.3. Difficultés rencontrées par les élèves face à l' cologie

Les difficultés que rencontrent les élèves par rapport à l'écologie sont principalement dues à des préconceptions ayant, d'après Bachelard cité par Astolfi (1997), 2 origines. Une origine individuelle qui découle des observations que l'on fait de notre environnement ainsi que de notre vécu personnel et une origine sociale provenant des connaissances acquises en milieux scolaires et extra-scolaires.

Une difficulté apparait avec le concept d'écosystème. C'est-à-dire que les élèves ont des difficultés à établir les connexions qu'il peut y avoir entre les facteurs biotiques présents au sein d'un écosystème mais également une difficulté de compréhension des effets des facteurs abiotiques dans ce dernier (Grotzer & Bell Basca, 2003; Kilinc et al., 2013). Comme exemple

pour le premier cas, on peut citer le fait qu'ils ne comprennent pas comment une fluctuation dans la taille de la population d'une proie peut impacter ses prédateurs (Barman et al., 1995; Kilinc et al., 2013).

Plusieurs préconceptions ont été mises en évidence vis-à-vis du concept de « réseau trophique ». Tout d'abord, les élèves interprètent un réseau trophique comme une chaîne alimentaire. Ensuite que les prédateurs apex peuvent manger tous les maillons se trouvant en dessous d'eux dans le réseau. S'en suit la préconception que ces prédateurs possèdent une énergie plus grande suite à la consommation de leur nourriture car elle a été accumulée le long de la chaîne. Finalement certains élèves pensent que le nombre d'individus dans les populations des prédateurs est plus grand car ils épuisent les maillons en dessous (Griffiths & Grant, 1985; Munson, 1991, 1994).

Il existe aussi des préconceptions au niveau des populations présentes dans un écosystème. En premier lieu, les élèves pensent qu'une variation de population d'un organisme va affecter uniquement les populations des organismes qui lui sont directement reliés dans une chaîne alimentaire. Secondement, que la variation d'une population ne peut pas affecter un écosystème car certains organismes ne sont pas importants vis-à-vis du maintien de celui-ci. Troisièmement, une variation d'un organisme ne va affecter que les organismes du même niveau trophique (Griffiths & Grant, 1985; Munson, 1991, 1994).

Il est également possible de trouver des préconceptions au sujet des niches écologiques. Par exemple, les élèves pensent que les besoins et les fonctions d'une espèce dans sa niche écologique sont généraux. C'est-à-dire que les élèves pensent que les espèces n'ont pas un besoin ou une fonction unique mais partagée avec d'autres espèces. De plus, ils sont typiques d'espèces similaires. Par exemple, pour certains élèves, deux grands herbivores comme le cerf et le chevreuil auront les mêmes besoins et les mêmes fonctions. D'autres peuvent penser que certaines espèces coexistent dans un écosystème car leurs besoins et leurs comportements sont assez similaires (Griffiths & Grant, 1985; Munson, 1991, 1994). Ce relevé non-exhaustif des préconceptions liées à l'écologie illustre à quel point elles peuvent être un frein à la compréhension des concepts de cette discipline, dont ceux abordés dans ce mémoire.

1.2.4. Différenciation pédagogique ou pédagogie différenciée

Les élèves ne rencontrent pas tous les mêmes difficultés car ils n'apprennent pas tous de la même façon. La différenciation pédagogique ou pédagogie différenciée a pour objectif de

prendre en considération cette différence et de varier ou adapter les manières d'enseigner afin que tous les élèves puissent réussir leur parcours scolaire. Afin d'optimiser l'apprentissage des élèves, il faut les placer dans une situation optimale c'est-à-dire qui correspond à leur façon d'apprendre. Après avoir abordé les sujets concernés par le programme avec toute la classe, l'enseignant peut proposer aux élèves les plus avancés ou les plus intéressés, des exercices de dépassement ou des thématiques supplémentaires qui permettront d'explorer d'autres concepts. L'ajout de ressource supplémentaire tel qu'un indice pour la réalisation d'une tâche, est également considéré comme un processus de différenciation (Bolduc & Van Neste, 2002; Legrand & Langouet, 1987; Moldoveanu et al., 2016; Nootens et al., 2012). La différenciation pédagogique doit être mise en œuvre, comme le suggère le Décret Mission (Parlement de la Communauté Française et le gouvernement, 2018), et peut impliquer plusieurs aspects. On peut en dénombrer quatre distincts. Le premier concerne les structures organisationnelles. Cet aspect prend en compte la répartition des élèves et la disposition de la classe. Le second se focalise sur les processus d'enseignement et d'apprentissage. Il doit y avoir un changement dans les stratégies mises en place par l'enseignant et une utilisation d'outils et matériels pédagogiques divers. Le troisième mobilise le contenu de ces apprentissages. C'est-à-dire que pour travailler une même compétence, les différents groupes vont travailler sur des contenus distincts. Finalement, le dernier aspect se concentre sur les productions réalisées par les élèves. C'est-à-dire que chaque élève, via un moyen de communication différent, va mettre en avant ses nouvelles connaissances lui permettant de prouver sa compréhension (Moldoveanu et al., 2016; Nootens et al., 2012). Ce processus peut apporter beaucoup pour l'élève comme une hausse de la motivation, une augmentation de son estime de soi ou de l'autonomie (Moldoveanu et al., 2016).

Il n'est évidemment pas aisé de mettre en place un processus de différenciation pédagogique pour l'ensemble des cours que ce soit par manque de temps ou parce que le groupe-classe est trop important (Bolduc & Van Neste, 2002; Moldoveanu et al., 2016; Nootens et al., 2012).

1.3. Le jeu comme source d'apprentissage

1.3.1. Pédagogie du jeu

Cette partie va aborder le thème de la pédagogie du jeu permettant de mettre en avant le fait que le jeu peut être pris comme un moyen d'apprentissage en tant que tel. Il est nécessaire de préciser et rappeler qu'il est important de varier la nature des cours donnés car la façon

d'apprendre peut être différente d'un élève à un autre. De plus, la motivation à suivre un cours peut également être différente suivant l'élève. Lors d'un cours, il est nécessaire de garder la motivation des élèves en classe afin que l'apprentissage soit optimal. D'après l'étude de Viau & Bouchard (2000), trois facteurs doivent être pris en compte pour juger de la motivation d'un élève. Le premier est la perception de la valeur que l'activité va lui apporter. La seconde est la perception de compétence. L'élève se questionne sur la manière dont il va résoudre ou effectuer l'activité. En effet, l'activité apporte de l'incertitude à l'élève quant à sa réussite. Finalement, la troisième est la perception de contrôlabilité, c'est-à-dire la perception que l'élève se fait du contrôle qu'il peut avoir sur l'activité ainsi que de ses conséquences.

Le fait que le cours soit donné sous forme de jeu et non sous forme de cours pour la plupart magistraux peut permettre aux élèves de rester motivés plus longtemps. Le but étant de motiver tous les élèves par divers procédés pédagogiques (Bado & Franklin, 2014; Decker, 2013; Jong et al., 2013). Le jeu sera d'abord perçu, par les élèves, comme un loisir plutôt que comme une source d'apprentissage et ils seront plus enclins à s'y intéresser. Celui-ci devient donc plus attractif pour l'élève. Le fait de s'impliquer dans le jeu va permettre la mise en avant des compétences possédées par les élèves. Ces derniers vont mettre en place des stratégies afin d'avancer au mieux dans le jeu et participent à l'élaboration ou à l'entraînement de compétence qu'elles soient personnelles ou explicitement spécifiées dans les programmes. De plus, la majeure partie des jeux se jouent à plusieurs que ce soit en équipe ou chacun pour soi. Chaque participant amène ses compétences et ses connaissances afin d'atteindre un objectif dans le jeu. Peu importe de quel type de jeu il s'agit, les participants vont tenter de réussir l'objectif fixé que ce soit en communiquant au sein de son équipe ou en observant ses adversaires jouer. De plus, un observateur externe au jeu peut également voir la partie en cours comme une source d'apprentissage via les observations qu'il fera (Nemessany, 2019; Su et al., 2014). Afin que l'apprentissage puisse se dérouler adéquatement, les règles du jeu permettent de structurer le savoir ainsi que le groupe. Elles vont permettre de fixer le cadre du jeu afin qu'il se déroule sans accroc (Brougère, 2002; Nemessany, 2019).

Il est intéressant de mentionner que le jeu peut mettre en avant des facultés parfois omises par la pédagogie traditionnelle. Parmi celles-ci, on peut reprendre la créativité ou la libre expression de ses pensées même si ces points sont en voie d'amélioration depuis quelques années. Cependant, pour que les jeux pédagogiques aient l'effet escompté, il faut que la personne expliquant les règles et/ou jouant le maître du jeu soit convaincante et ait les connaissances appropriées. La personne réalisant ces tâches se trouve être généralement l'enseignant. En plus

d'avoir ces connaissances, il doit savoir s'adapter à n'importe quels joueurs afin que tous puissent bénéficier de l'apprentissage souhaité (Cavalho et al., 2019; Nemessany, 2019). Cela peut également être un bel exemple de transposition didactique.

La transposition didactique a été définie par Yves Chevallard en 1985 ; « Le travail qui d'un objet de savoir à enseigner en fait un objet d'enseignement. ». C'est-à-dire qu'un savoir dit « savant » sera transposé en savoir dit « à enseigner ». Des simplifications du savoir savant, sans pour autant sacrifier son contenu, vont être nécessaires afin de pouvoir être incluses dans un programme. En effet, l'entièreté de la matière du domaine traité ne peut être apprise lors d'un cursus scolaire et des choix cruciaux doivent être pris par les concepteurs de programme scolaire. Cette transformation se nomme la transposition didactique externe. L'enseignant va par la suite devoir suivre ce programme en réalisant ses cours. Il adaptera ses cours et choisira lui-même la façon dont il verra la matière. Cette seconde transformation se nomme transposition didactique interne. La Figure 2 représente les différentes étapes nécessaires à la transposition didactique (Clerc et al., 2006; Develay, 1987).

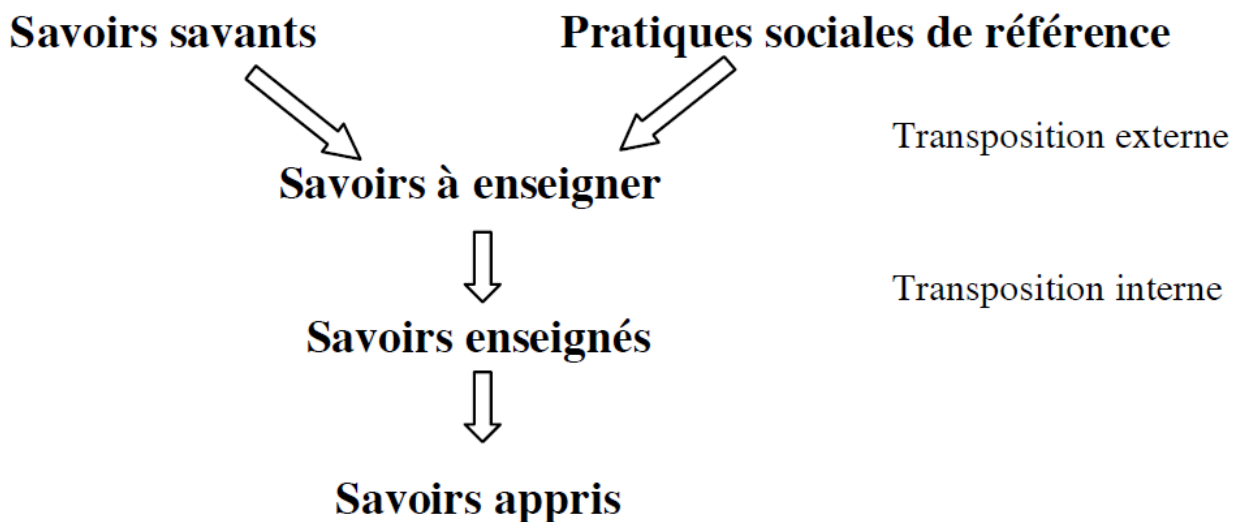


Figure 2. Représentation de la transposition didactique du savoir savant au savoir appris (Clerc et al., 2006).

Le jeu et les concepts qu'il veut faire passer font donc partie de cette seconde transformation car c'est un choix de l'enseignant d'aborder le programme via ce matériel pédagogique. Dans ce mémoire, le jeu sera une simplification et une modélisation de l'écosystème du Parc National du Yellowstone. Des choix ont dû être réalisés afin de savoir le nombre d'individu par espèce nécessaire afin que les concepts souhaités puissent transparaître aux yeux des élèves. Si les choix ne sont pas bons, il est possible que le jeu ne fonctionne pas.

1.3.2. Jeux en biologie

Plusieurs jeux ont déjà été développés dans le cadre de l'enseignement de la biologie. Les thématiques traitées mais également les supports sont très variables. Cela oscille du serious game électronique (simulation du gestionnaire de poissonnerie) ou Nowatera® au jeu de plateau (Synthesizing Proteins ou T-lymphocyte self-tolerance game) ou jeu de carte (How Human Immunology Is Regulated) en passant par des jeux de rôle (SimParc). Certains projets de développement de jeux ont été suivis d'études plus approfondies pour en percevoir la portée (Ameerbakhsh et al., 2019; Briot et al., 2011; Cavalho et al., 2019; Eckert et al., 2004; Su et al., 2014).

Dans les différentes études citées, il ressort que le jeu peut être à la base d'une meilleure compréhension de la matière. Afin de juger cela, la majeure partie des études utilisent un groupe contrôle suivant un cours classique donné par leur enseignant et plusieurs groupes tests apprenant la même matière par le jeu. Un test est alors donné aux élèves afin d'évaluer leurs connaissances de la matière. Le but est de comparer le groupe contrôle aux groupes tests. L'évaluation peut légèrement changer suivant l'étude en incorporant une partie subjective où les élèves donnent également leur ressenti ou même une interview individuelle afin de comprendre plus en profondeur l'impact du jeu sur l'élève (Cavalho et al., 2019; Eckert et al., 2004; Su et al., 2014). L'étude réalisée par Cavalho (2019) décrit un exemple de jeu de plateau mettant en avant le concept de synthèse protéique. Ce jeu va permettre de mieux comprendre et assimiler les notions vues aux cours. D'après cette étude, l'avant et l'après jeu sont assez différents. En effet, les concepts scientifiques qui doivent être enseignés sont parfois compliqués pour les élèves. Le fait de matérialiser cela dans un modèle ou une activité, dans ce cas-ci le jeu, permet aux élèves de visualiser plus facilement ce qu'ils doivent apprendre. L'objectif est donc atteint pour certains élèves. Les élèves comprennent mieux et savent expliquer la matière de façon plus compréhensible. Le jeu rendant plus concret des concepts parfois difficiles à appréhender pourrait dès lors permettre de dépasser certaines conceptions erronées. Un autre jeu, réalisé dans l'étude de Su (2014) à propos de l'immunologie, a également permis de montrer que les élèves ayant joué ont acquis dans l'ensemble de meilleures connaissances. Dans cette étude le dispositif a été testé dans différentes classes. Une dernière classe a été considérée comme le contrôle et a donné des cours magistraux sur cette même matière. Chaque classe a montré de manière significative une meilleure compréhension des concepts abordés dans le jeu, grâce à un système de points accordés à chaque réponse.

1.3.2.1. Avantages du jeu

Les jeux abordant une thématique scientifique peuvent accroître l'intérêt du joueur pour la matière ainsi que lui donner de la rigueur scientifique dans sa manière de penser. L'esprit critique et la créativité entrent également dans les aptitudes que le jeu peut apporter (Clark et al., 2009; Eber, 2003; Sadler et al., 2015). Cela peut être appuyé par la conclusion émise par le National Research Council (2011) :

« La simulation et les jeux ont le potentiel de faire progresser de multiples objectifs d'apprentissage des sciences, notamment la motivation à apprendre les sciences, la compréhension conceptuelle, les compétences en matière de processus scientifiques, la compréhension de la nature des sciences, le discours et l'argumentation scientifiques, et l'identification avec les sciences et l'apprentissage des sciences » (National Research Council, 2011).

Le jeu peut aider à structurer les idées d'un procédé plutôt complexe comme le montre l'étude de Cavalho (2019) par rapport à la synthèse des protéines. Les élèves sauront ensuite utiliser les mots ou concepts appris dans le jeu dans d'autres contextes que celui initial car ils en auront compris le sens. Le jeu peut également être une occasion, pour l'enseignant, de faire un rappel des concepts qui vont être abordés lors de la partie. Apprendre par le jeu peut renforcer les notions qui étaient déjà acquises par un élève (Cavalho et al., 2019; Su et al., 2014). Lorsque le jeu va introduire de nouveaux termes ou concepts, le professeur sera là pour superviser cela et apporter des précisions si nécessaire (Cavalho et al., 2019). De plus, le jeu peut apporter une aide dans la construction du savoir comme a pu l'expliquer Vygotsky avec le concept de zone proximale de développement. Cette zone se situe entre les capacités qu'une personne travaillant seule possède et celles qu'elle pourrait obtenir par l'aide d'un pair potentiellement plus doué dans la tâche à réaliser C'est-à-dire les capacités qu'une personne possède pour réaliser seule une action et celles dont elle bénéficierait si elle réalisait cette même action en groupe. Les jeux se jouant, pour la plupart, avec plusieurs participants, vont permettre à cette zone de se développer chez les participants œuvrant dans un but commun, gagner la partie. Ce sera d'autant plus le cas lors d'un jeu coopératif où les joueurs vont devoir s'entraider afin de remporter la partie (Cavalho et al., 2019; Johnson & Johnson, 2015; Su et al., 2014).

Le jeu peut également permettre aux élèves de développer des capacités dont la prise de décision, la gestion d'une situation et la mise en place de stratégies font partie. Les joueurs vont devoir débattre et négocier afin de se mettre d'accord. (Cavalho et al., 2019; Sadler et al., 2015).

Ce sont des compétences transversales qui peuvent être mobilisées lors d'un jeu. Ces compétences sont nommées soft-skills (Bouret et al., 2014 ; Taylor & Corbett-Etchevers, 2021; Viviers et al., 2016).

1.3.2.2. Désavantages du jeu

Le premier désavantage qui peut être cité est la chronophagie ainsi que le matériel nécessaire pour la réalisation d'un jeu en classe. En effet, la conception d'un jeu demande un temps certain ainsi que le matériel adéquat. Les établissements scolaires ne débloquent pas forcément de fonds pour ce genre d'initiative. De plus, le temps nécessaire à la confection d'un jeu même déjà existant demandera, de manière générale, bien plus de temps que la conception d'un cours magistral sur le concept voulu. La taille des classes peut également entrer en compte car pour un nombre important d'élèves, il faudra réaliser le jeu en plusieurs exemplaires. Cela nécessite plus de temps mais également plus de moyens (Eber, 2003; Harrache, 2019).

Un second désavantage qui peut être cité est le manque de document et l'absence de ressources disponibles pour ce genre d'initiative. La création totale d'un jeu demande des compétences qui ne sont pas forcément acquises des enseignants. Il peut être difficile de calibrer un jeu sans avoir les ressources y aidant. Il est donc préférable d'opter pour des jeux déjà existant afin de cibler plus rigoureusement l'apprentissage souhaité. Les enseignants ont donc plus de facilité à donner un cours sorti d'un manuel que d'inventer un jeu de toute pièce sans savoir si la finalité sera celle espérée (Harrache, 2019).

Le désavantage suivant est le temps consacré en classe pour le jeu. Ce temps est parfois bien supérieur à celui d'un cours magistral pour les mêmes concepts. Les enseignants voient parfois cela comme une perte de temps dans la réalisation du programme (Eber, 2003; Harrache, 2019).

Le dernier désavantage d'un jeu pédagogique se situe au niveau de la transposition didactique nécessaire. Les choix à réaliser pour créer le jeu à partir de savoir savant sont cruciaux pour permettre d'acquérir les concepts visés sans quoi le jeu peut devenir obsolète.

1.4. Jeux coopératifs

1.4.1. La coopération

Avant de parler de jeux de coopération, aborder le terme de la coopération est indispensable. La coopération est une notion abordée dans une activité collective où l'interaction et la communication avec un autre membre réalisant l'activité est nécessaire. Cela est valable pour

les êtres humains mais également pour les animaux comme le montre la Figure 3. Elle permet un bénéfice mutuel ou une augmentation de celui-ci pour les organismes impliqués (Georgé et al., 2011).

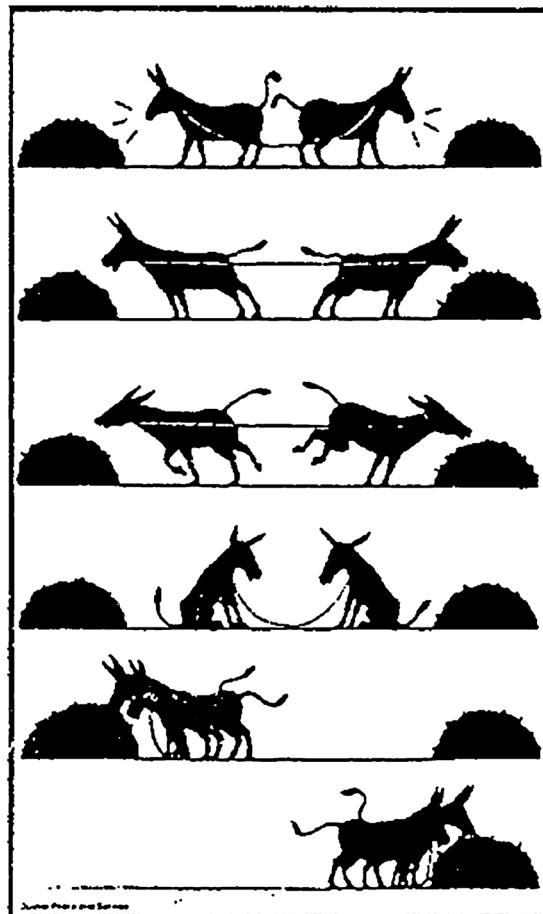


Figure 3. Représentation d'une situation de coopération entre deux ânes (Georgé et al., 2011).

La coopération amène, dans certaines circonstances, plus de bénéfice à une société que la compétition. Que ce soit dans la réalisation et la productivité de tâche ou que ce soit au niveau des relations entre les personnes, ainsi qu'un bienfait sur leur état psychologique. Le XXème siècle fut en proie aux débats et aux tensions entre la coopération et la compétition. Cette partie va aborder 4 théories permettant de mettre en avant les avantages de la coopération dans la société (Johnson & Johnson, 2015).

La première est celle du développement cognitif. Elle se base sur le fait que lorsque des personnes travaillent en groupe, leurs désaccords créent un déséquilibre cognitif aussi nommé conflit socio-cognitif. Afin de contrer ce déséquilibre, l'être humain doit argumenter son opinion ou alors écouter celle des autres afin de trouver un accord. Cette réflexion personnelle, ou de groupe, permet de développer des raisonnements améliorant nos capacités de réflexion et donc par la même occasion entraîne un développement cognitif plus important par la remise en

question. Les connaissances ont donc été partagées et construites à plusieurs via un effort collectif. Un concept important dans cette théorie est celui de la zone proximale de développement définie par Vygotsky. (Cavalho et al., 2019; Johnson & Johnson, 2015; Piaget, 1950).

La deuxième théorie relève de l'apprentissage comportemental. En général, une personne travaille de manière efficace lorsqu'elle sait qu'elle en sera récompensée. Une récompense peut être associée à un état de bien-être, une émotion positive, de l'estime de soi ou parfois même une récompense physique. Au contraire, le travail ne sera pas rentable lorsqu'il n'y aura pas de récompense à la clé. La coopération ou le travail de groupe permet d'avoir, peu importe le travail, au minimum la gratitude des autres membres du groupe. Une personne travaillera donc plus facilement consciencieusement en relation avec d'autres gens. La coopération va donc favoriser une récompense commune maximale en diminuant fortement les coûts nécessaires pour l'atteindre (Johnson & Johnson, 2015; Kelley & Thibaut, 1978).

La théorie sociale cognitive est la troisième théorie abordée. Elle permet à un groupe ce qu'un individu seul n'aurait pas été capable de réaliser par ses propres moyens. Travailler en groupe augmente la motivation et la persévérance vis-à-vis de la tâche à accomplir. L'individu va également mémoriser l'information acquise par le groupe afin de pouvoir l'utiliser pour son propre intérêt. Cette théorie est assez utilisée dans un groupe partageant par exemple un métier. Leur apprentissage en sera donc accéléré (Bandura, 2000; Johnson & Johnson, 2015; Wittrock, 1990).

Enfin, la dernière théorie est celle de l'interdépendance sociale. Ce terme est défini par le fait que des individus ayant un objectif commun prennent en considération et sont affectés par les émotions et les actions de chacun. L'interdépendance est souvent positive et peut être mise directement en lien avec la coopération. En effet, lorsqu'un groupe travaille ensemble, l'objectif à atteindre est commun et donc chaque membre réalise un objectif personnel, déterminé suivant ses compétences, afin d'arriver à ce but. Il faut donc de l'entraide structurée ainsi que l'aide de chacun des membres (Bado & Franklin, 2014; Deutsch, 1962; Johnson & Johnson, 2009, 2015).

1.4.2. Explication et caractéristiques du jeu coopératif

Les jeux de coopération se différencient des jeux classiques par le fait que les joueurs gagnent ou perdent tous ensemble. Avant de commencer le jeu, il y a la mise en place d'une histoire ou une anecdote. Celle-ci permet d'introduire un élément extérieur qui n'est pas un joueur. Cet

élément sera soit un adversaire fictif à vaincre soit un objectif commun à atteindre. Chaque joueur obtient donc un rôle, qui peut être identique ou différent, afin de jouer contre cet élément (Lontie, 2012 ; Masheder et al., 2005). Le fait d'attribuer un rôle peut s'avérer utile afin que la participation de chaque joueur favorise la victoire d'une manière différente. Cela permet d'éviter qu'un joueur ne prenne les commandes et joue en solitaire (Verstraeten, 2012). Le jeu se termine par la victoire ou la défaite de tous les joueurs. La condition de victoire peut être atteinte seulement si les joueurs collaborent et jouent ensemble. Il est logique que dans ce type de jeu, il soit autorisé d'aider les autres en leur donnant des ressources, des points,... sans quoi la coopération pour gagner ne peut être envisagée. Cette coopération peut aussi intervenir sous forme de débat entre les joueurs afin de choisir l'action la plus adéquate pour chacun. Suivant le type de joueurs présents, la situation initiale peut être adaptée afin de convenir à tous (Lontie, 2012 ; Masheder et al., 2005). Chacun des atouts des joueurs peut prendre de l'importance dans la partie et devient une force pour tout le monde a contrario d'un jeu compétitif où l'atout des uns devient une faiblesse pour les autres (Verstraeten, 2012). Ce qui, au final, renforce la cohésion du groupe (Amendola & Rebetez, 2012; Bado & Franklin, 2014).

Comme la compétition entre joueurs n'est pas présente dans ce type de jeu, l'agressivité éventuelle entre joueurs qui en découle n'est, elle non plus, pas présente car tous les joueurs obtiennent soit la défaite soit la victoire. Ces jeux mettent également en place des valeurs de solidarité et d'entraide par la convivialité et le partage que procurent ce genre de jeu. Les qualités interpersonnelles peuvent aussi être mises à profit afin d'améliorer la sociabilité de chacun (Verstraeten, 2012).

De plus, le jeu de coopération peut être vu sous deux dimensions différentes, d'une part la dimension du jeu et d'autre part la dimension de la coopération comme expliquée précédemment. Le jeu peut être perçu comme un outil social et un objet de culture. Il permet tout d'abord de laisser libre cours à ses expressions. Il détend les joueurs et leur procure du plaisir. Il va mettre en avant plusieurs aspects, dont l'affectif, le psychomoteur ou le relationnel. De plus il permet l'interaction avec autrui, généralement un groupe, mais il permet également d'énoncer des règles que les joueurs devront apprendre à respecter (Amendola & Rebetez, 2012).

Le jeu de coopération peut également être une source d'apprentissage en classe. Il va présenter tant les avantages de la coopération vu dans la section « D.1. La coopération » que ceux du jeu pédagogique comme l'explique la section « C.1. Pédagogie du jeu » de cette introduction (Bado & Franklin, 2014; Jong et al., 2013).

1.5.Objectif de la recherche

Au vu des enjeux environnementaux liés à l'apprentissage de l'écologie et des intérêts du jeu coopératif, il nous a semblé pertinent de nous focaliser lors de cette étude sur la question de recherche suivante : « Le jeu coopératif « Mission Yellowstone » permet-il de réaliser des apprentissages concernant le concept d'espèce « clé de voûte » et de « cascade trophique » lors d'une leçon sur l'écologie en 6eme secondaire sciences générales ? ».

2. Matériel et méthode

2.1.Test préliminaire

Afin de vérifier le fonctionnement du dispositif et d'optimiser les apprentissages et l'expérience de jeu, un test préliminaire a été réalisé à l'Institut Saint Joseph de Carlsbourg le 2 décembre 2021. Les différents changements opérés seront abordés plus loin dans le texte.

2.2.Sites d'étude

Le jeu mis en place pour ce mémoire a été testé entre le 9 février et le 22 avril 2022 dans 10 classes différentes de 6^{ème} année secondaire en option sciences générales dans les sept établissements ci-dessous, présents en Province du Luxembourg et en Région Bruxelloise.

- Communauté scolaire Saint Benoît de Habay-la-Neuve
- Ecole Secondaire Libre de Saint-Hubert
- Institut Notre-Dame d'Arlon
- Institut Notre-Dame de Bertrix
- Institut Notre-Dame du Sacré-Cœur de Beauraing
- Institut Sainte-Marie de Bouillon
- Institut Saint-Boniface de Bruxelles

L'ensemble de ces classes représente un pool de 155 élèves. Les résultats des élèves ont été considérés indépendamment de leur classe dans les résultats généraux.

2.3.Descriptif du jeu

Le jeu auquel ont joué les élèves est un jeu de coopération centré sur le concept d'espèce « clé de voûte » et de « cascade trophique ». Les espèces présentes forment une modélisation de

l'écosystème du parc national du Yellowstone aux États-Unis. La Figure 4 représente le réseau trophique mis en place. Afin de faciliter le jeu, ce réseau a été simplifié et modélisé depuis l'écosystème du Parc National du Yellowstone.

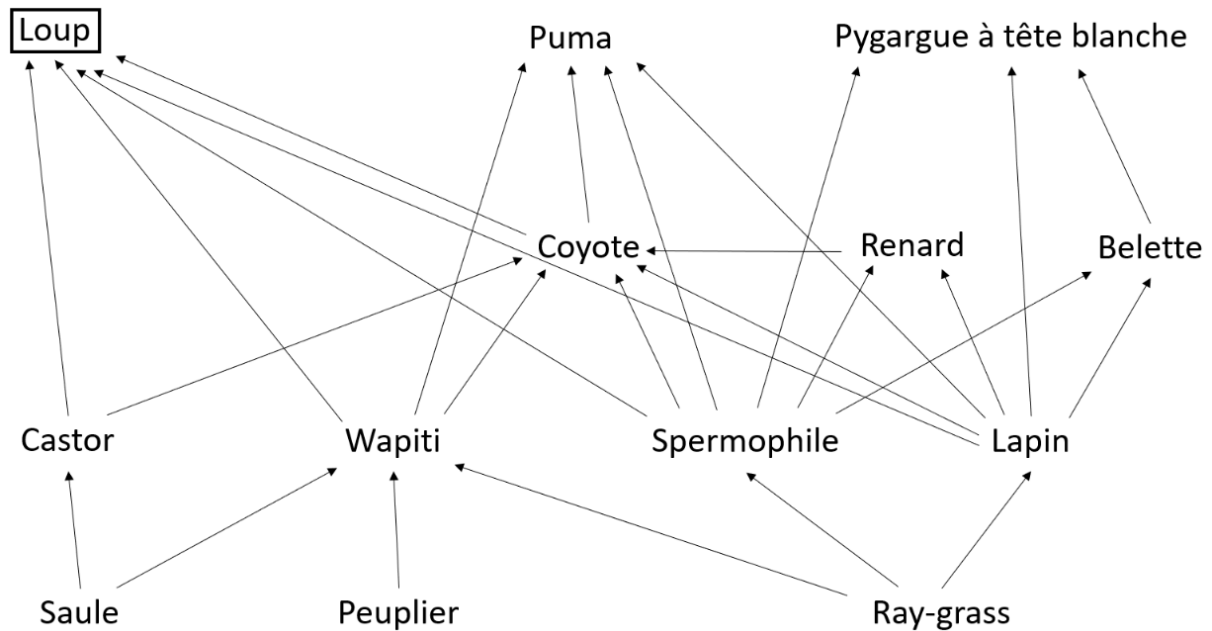


Figure 4. Représentation du réseau trophique mis en place pour le jeu "Mission Yellowstone". L'espèce encadrée est considérée comme l'espèce clé de voûte de l'écosystème.

Le but du jeu est de maintenir stable l'écosystème représenté le plus longtemps possible en éliminant à chaque tour, une espèce. Un descriptif précis des règles, de la mise en place et du déroulement d'une partie sont repris en Annexe 1. Le jeu se joue sur un plateau préalablement conçu (Figure 5). Le carton « résumé d'un tour » présent sur cette figure a été mis en place après le test préliminaire afin de faciliter le déroulement des 2 parties jouées durant les 2 périodes de 50 minutes.

La mécanique de coopération mise en place est la communication entre les trois à cinq joueurs avant qu'une espèce ne soit enlevée. Les élèves doivent se concerter afin de retirer l'espèce qui, d'après eux, permettra aux autres espèces de se maintenir le plus longtemps.

1) L'échelle de tour est augmentée de 1
 2) Le joueur dont c'est le tour exécute toutes les cartes actions dans l'ordre d'apparition
 3) Le joueur dont c'est le tour enlève tous les individus d'une espèce de l'écosystème
 4) Le joueur dont c'est le tour retourne face visible la carte action correspondante

7

Carte action: Puma

Renard
 Actions:
 • +1 unité de spermophile tous les 2 tours
 • +1 unité de lapin tous les 2 tours

Ray-grass
 Actions:
 • -1 unité de lapin tous les 2 tours
 • -1 unité de spermophile tous les 2 tours

Carte action: Wapiti

Carte action: Peuplier

Castor
 Actions:
 • +1 unité de saule tous les tours
 • -1 unité de loup tous les 4 tours les tours

Spermophile
 Actions:
 • +1 unité de ray-grass tous les tours
 • +1 unité de belette tous les tours
 • -1 unité de renard tous les 3 tours
 • -1 unité de pygargue tous les 3 tours

Carte action: Pygargue à tête blanche

Carte action: Belette

Coyote
 Actions:
 • -1 unité de spermophile tous les tours
 • +1 unité de lapin tous les tours
 • +1 unité de renard tous les 2 tours
 • -1 unité de loup tous les 3 tours
 • -1 unité de puma tous les 3 tours

Saule
 Actions:
 • -1 unité de wapiti tous les 2 tours
 • -1 unité de castor tous les 2 tours

Carte action: Loup

Carte action: Lapin

8

Disparition

2

1 tour 2 tours 3 tours 4 tours

1

YELLOWSTONE NATIONAL PARK

1 tour 2 tours 3 tours 4 tours

Apparition

3

4

Compteur de tours

9
8
7
6
5
4
3
2
1

Coyote
Ray-grass
Lapin
Saule
Belette
Spermophile
Wapiti
Castor
Renard
Peuplier
Pygargue
Loup
Puma

5

Coyote
Belette
Loup
Pygargue
Castor
Peuplier
Wapiti
Saule
Renard
Spermophile
Lapin
Puma
Ray-grass

6

Figure 5. 1. Plateau principal ; 2. Plateau secondaire 1 ; 3. Plateau secondaire 2 ; 4. Compteur de tours ; 5. Cartes espèces ; 6. Jeton espèces ; 7. Carte action ; 8. Résumé tour

2.4. Déroulé de la simulation

Tous les élèves vont jouer deux parties. Avant la seconde partie, une espèce devant être enlevée au tour 1 est sélectionnée aléatoirement entre un pool d'espèces choisies par le mémorant selon un tirage au sort pour chaque groupe. Ce ne sera donc plus les discussions des élèves qui vont déterminer la première espèce qui sera enlevée mais le résultat du tirage au sort. Le reste de la partie se déroule normalement comme expliqué dans les règles.

Dans les espèces possibles lors du tirage au sort, il faut mettre à minima l'espèce clé de voûte de l'écosystème ainsi qu'un végétal. Dans notre cas, le loup et le ray-grass étaient à chaque fois présents. Cette imposition permet d'être certain que l'espèce clé de voûte soit enlevée en premier dans au moins un groupe. Il est également important de mettre le végétal car lors du test préliminaire, il est apparu plusieurs fois dans les réponses des élèves que les végétaux sont les espèces clés de voûte car ils sont à la base de la chaîne alimentaire. C'est ce test préliminaire qui a permis de mettre en place l'étape expliquée ci-dessus car elle n'était pas présente avant ce dernier.

2.5. Période en classe

Le temps passé en classe est de 2 périodes consécutives de 50 minutes. Une fois les règles du jeu expliquées par le mémorant, les élèves sont répartis en groupes de 3 à 5 suivant le nombre d'élèves total dans la classe. Après la formation des groupes, 2 parties de 15 minutes sont jouées. Il est nécessaire de faire au minimum 2 parties afin que les élèves se familiarisent avec le dispositif lors de la première. Durant leur partie, le secrétaire sélectionné dans chaque groupe va annoter la fiche secrétaire du déroulement de la partie. Cette dernière est un résumé de chaque partie et permet de représenter chaque choix effectué par les joueurs mais également les conséquences de ces choix grâce à la troisième colonne (voir Figure 6 et 7). Cette dernière colonne reprend les espèces disparues à cause des espèces que les élèves ont enlevées précédemment dans la partie. La flèche signifie que « La disparition de ... a été provoquée par la disparition antérieure de ... ».

Une fois les parties terminées, une mise en commun au tableau des fiches secrétaires est effectuée.

Fiche secrétaire « Mission Yellowstone »

Dans le tableau ci-dessous, le secrétaire va indiquer à chaque tour :

- dans la deuxième colonne l'espèce qui est enlevée par un joueur
- dans la troisième colonne, la ou les espèce(s) qui disparaît(ssent) suite à l'effet d'une carte action tout en précisant derrière la flèche quelle carte action a causé la disparition de la ou les espèces → La troisième colonne ne sera pas forcément remplie à tous les tours de jeu.

Nombre de tours	Espèce enlevée	Espèce qui disparaît
Tour 1	Ray-grass	→
Tour 2	Puma	→ →
Tour 3	Pygargue	→ → →
Tour 4	Lapin	→ → →
Tour 5	Bastor	→ → →
Tour 6	Peuplier	→ → →
Tour 7	Belette	→ → →
Tour 8	Renard	→ → →
Tour 9	Sauze	→ → →

Figure 6. Fiche secrétaire d'un groupe ayant gagné la partie.

Fiche secrétaire « Mission Yellowstone »

Dans le tableau ci-dessous, le secrétaire va indiquer à chaque tour :

- dans la deuxième colonne l'espèce qui est enlevée par un joueur
- dans la troisième colonne, la ou les espèce(s) qui disparaît(ssent) suite à l'effet d'une carte action tout en précisant derrière la flèche quelle carte action a causé la disparition de la ou les espèces → La troisième colonne ne sera pas forcément remplie à tous les tours de jeu.

Nombre de tours	Espèce enlevée	Espèce qui disparaît
Tour 1	loup	→
Tour 2	Wapiti	→ →
Tour 3	pygargue à tête blanche	→ → →
Tour 4	lapin	renard → loup puma → wapiti →
Tour 5	coyote	→ → →
Tour 6	Spesmophile	castor → loup → →
Tour 7		→ → →
Tour 8		→ → →
Tour 9		→ → →

Figure 7. Fiche secrétaire d'un groupe ayant perdu la partie après le tour 6.

La mise en commun collective basée sur les fiches secrétaires permet aux élèves d'avoir un aperçu du déroulement des parties dans les autres groupes, que ce soit au niveau des choix effectués mais également des conséquences subies. Les secrétaires désignés dans chaque groupe citent à l'enseignant leur fiche secrétaire et celui-ci la retranscrit au tableau. Dès lors, l'ensemble des fiches secrétaires seront visibles pour la totalité de la classe.

Suite à cela, un questionnaire de sept questions est donné aux élèves. Il y a d'abord un temps de 15 minutes en groupe pour les deux premières questions. Une fois ce laps de temps écoulé, les élèves reprennent leurs places respectives et la suite du questionnaire (questions 3 à 7) est distribuée. Les copies sont reprises au bout de 20 minutes. Un détail des questions sera abordé dans la suite du texte.

2.6. Questionnaires

2.6.1. Généralités

Afin de pouvoir montrer l'efficacité du jeu en classe, deux questionnaires ont été conçus. Le premier, nommé pré-test, doit être donné par l'enseignant de biologie attiré lors du cours de biologie précédant l'activité. Le second, nommé post-test, est, comme expliqué, plus haut donné après le jeu. Dans le pool de 155 élèves, 153 ont effectué le pré-test et 150 le post-test. Cela est dû à des absences d'élèves lors des périodes de jeu ou de la période précédant celui-ci et durant laquelle le pré-test était complété. La différence entre le nombre de répondants entre le pré et le post-test (153 contre 150) n'a pas été prise en compte. En effet, les élèves, ayant réalisé le premier questionnaire mais pas le second, n'ont été évalués que sur leurs préconceptions. Les résultats ne sont donc pas différents des autres élèves. Concernant ceux qui ont uniquement répondu au post-test, il n'y a pas de raison de penser que leurs préconceptions potentiellement erronées aient évolué de façon différente par rapport aux élèves ayant répondu au pré-test. Pour ces raisons, les questionnaires ont tous été pris en compte afin d'avoir un maximum d'effectif pour l'analyse.

L'ensemble des questionnaires complétés ainsi que les fiches secrétaires sont archivées chez l'auteur de ce mémoire.

2.6.2. Pré-test

Le pré-test est composé de 5 questions distinctes suivies de la réponse attendue en italique, recensées ci-dessous et doit être effectué en maximum 20 minutes. Il faut que dans la réponse,

le concept général du correctif, visible ci-dessous, soit présent ou perçu pour que la réponse soit considérée comme correcte. Les noms vernaculaires des organismes sont utilisés afin de faciliter la compréhension des élèves, que ce soit pour le pré-test ou le post-test.

- 1) Essayez de représenter la chaîne trophique (chaîne alimentaire) (Figure 8) en utilisant les animaux de nos contrées cités ci-dessous (la flèche doit indiquer « est mangé par »).
Loup - Renard - Lapin - Ronces - Buse - Trèfle - Chevreuil - Scarabée - Sanglier - Souris – Belette

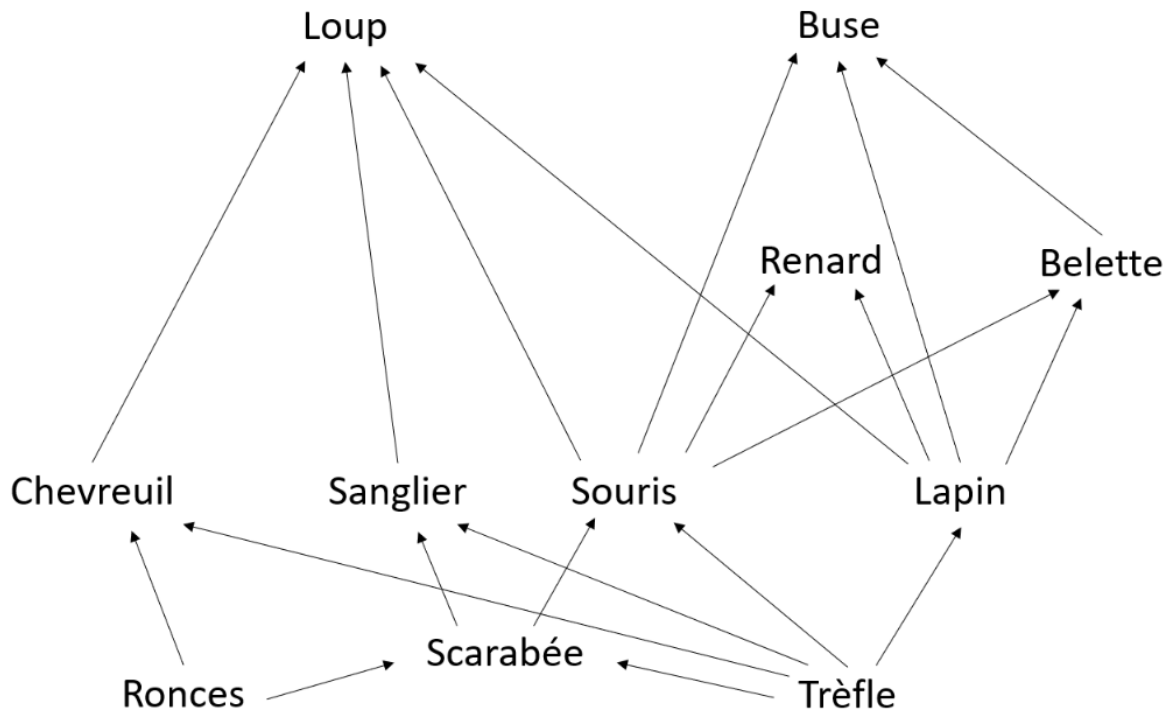


Figure 8. Représentation du réseau trophique des animaux de nos contrées.

Il faut que la chaîne trophique soit représentée comme un réseau avec différentes interactions entre toutes les espèces. C'est-à-dire qu'il n'y a pas un début et une fin (a → b → c). Dans le cas contraire, la chaîne est représentée comme linéaire et est considérée comme une réponse incorrecte.

- 2) Comment voyez-vous l'importance d'une espèce au sein de son écosystème. Est-elle identique ou différente de celle des autres espèces ?

Les espèces ont une importance différente.

- 3) D'après vous, que pourrait représenter le concept d'une espèce « clé de voûte » dans un écosystème ?

L'espèce clé de voûte est une espèce structurant son écosystème ou capable de réguler les interactions présentes à l'intérieur de celui-ci. Elle peut être qualifiée

d'indispensable car sa disparition entraînera éventuellement le basculement de l'écosystème d'un état à un autre.

- 4) Connaissez-vous ou pouvez-vous essayer d'interpréter le concept de « cascade trophique » ?

Oui Non

Si oui, essayez d'en donner une définition avec vos mots.

Suite à un changement du nombre d'individus dans une population de prédateurs, cela aura un impact positif ou négatif sur ses proies. L'impact sera inversé pour le maillon se situant 2 niveaux plus bas.

- 5) Avez-vous répondu aux questions 3 et 4 ?

Oui Non

Si oui, d'après vous, quel pourrait être le lien qui existe entre le concept d'espèce « clé de voûte » et le concept de « cascade trophique » ? Illustrez votre réponse en vous basant sur des espèces que vous connaissez.

La diminution ou la disparition d'une espèce clé de voûte entraîne une cascade trophique dans l'ensemble de l'écosystème. Ici seule l'identification du lien cause-conséquence est évaluée.

2.6.3. Post-test

Le post-test est effectué après que les élèves aient joué et se compose de 2 parties. La première partie est conçue pour être répondue en groupe (question 1 et 2 ci-dessous). La seconde partie est individuelle. Celle-ci est composée de 5 questions (questions 3 à 5 b) ci-dessous). Les réponses attendues sont les mêmes que dans le pré-test sauf pour la question 1 et 5 a).

- 1) À partir de vos résultats et de ceux des autres groupes, essayez de représenter la chaîne trophique (chaîne alimentaire) qui régit l'écosystème du parc de Yellowstone (la flèche doit indiquer « est mangé par »).

La réponse est la même que la question 1 du pré-test et le réseau est représenté via la Figure 8.

- 2) Comment le jeu peut-il prouver qu'une espèce présente dans un écosystème est plus importante qu'une autre ? Illustrez votre explication en vous servant de deux espèces présentes dans le jeu.

Le jeu prouve que deux espèces sont différentes car lorsqu'une espèce est enlevée (par exemple le loup), les conséquences que cela engendre sont bien plus importantes que lorsqu'on enlève une autre espèce (par exemple le pygargue).

- 3) a) D'après vous, quelle est l'espèce « clé de voûte » de l'écosystème ? Aidez-vous des résultats obtenus par chaque groupe. Justifiez votre réponse. Si vous n'avez aucune idée de la réponse, il est possible de demander un indice.

Le loup

b) Avec vos mots et vos réflexions du point précédent, définissez le concept d'espèce « clé de voûte ».

- 4) Représentez la chaîne trophique (chaîne alimentaire) en utilisant les animaux de nos contrées cités ci-dessous (la flèche doit indiquer « est mangé par »).

Loup - Renard - Lapin - Ronces - Buse - Trèfle - Chevreuil - Scarabée - Sanglier - Souris
– Belette

- 5) a) D'après vous, que signifie le concept de « cascade trophique » ? Donnez-en une définition avec vos mots et illustrez-le en utilisant les espèces présentes dans le jeu. Vous pouvez vous aider d'un schéma pour répondre à la question. Si vous n'avez aucune idée de la réponse, il est possible de demander un indice.

b) D'après vous, quel pourrait être le lien qui existe entre le concept d'espèce « clé de voûte » et le concept de « cascade trophique » ? Illustrez votre réponse en vous basant sur les espèces présentes dans le jeu.

Pour les questions 3 a et b) ainsi que la question 5 a), les élèves avaient le droit de demander un indice en cas d'absence d'idées. C'est un second processus de différenciation pédagogique mis en place dans cette activité. La Figure 9 montre l'indice pour les 2 premières et la Figure 10 pour la troisième.

3. a) D'après vous, quelle est l'espèce « clé de voûte » de l'écosystème ? Aidez-vous des résultats obtenus par chaque groupe. Justifiez votre réponse.
 Pour vous aider, voici une représentation de profil de ce qu'est une clé de voûte en architecture.

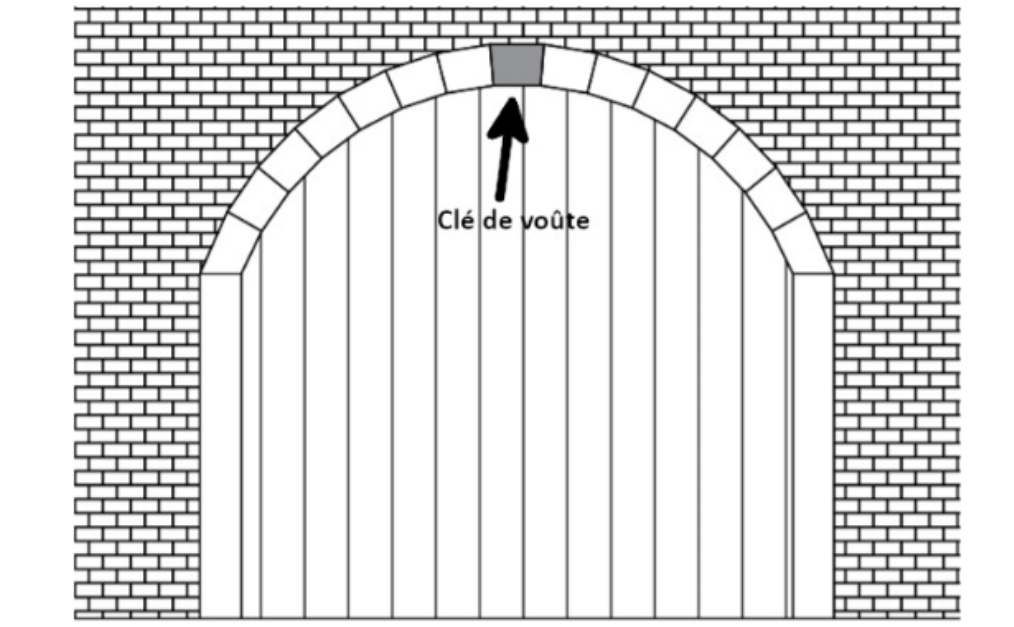


Figure 9. Représentation de l'indice donné aux élèves pour la question "Espèce" et "Post clé de voûte".

5. a) D'après vous, que signifie le concept de « cascade trophique » ? Donnez-en une définition avec vos mots et illustrez-le en utilisant les espèces présentes dans le jeu. Le schéma ci-dessous peut vous aider à comprendre le concept.

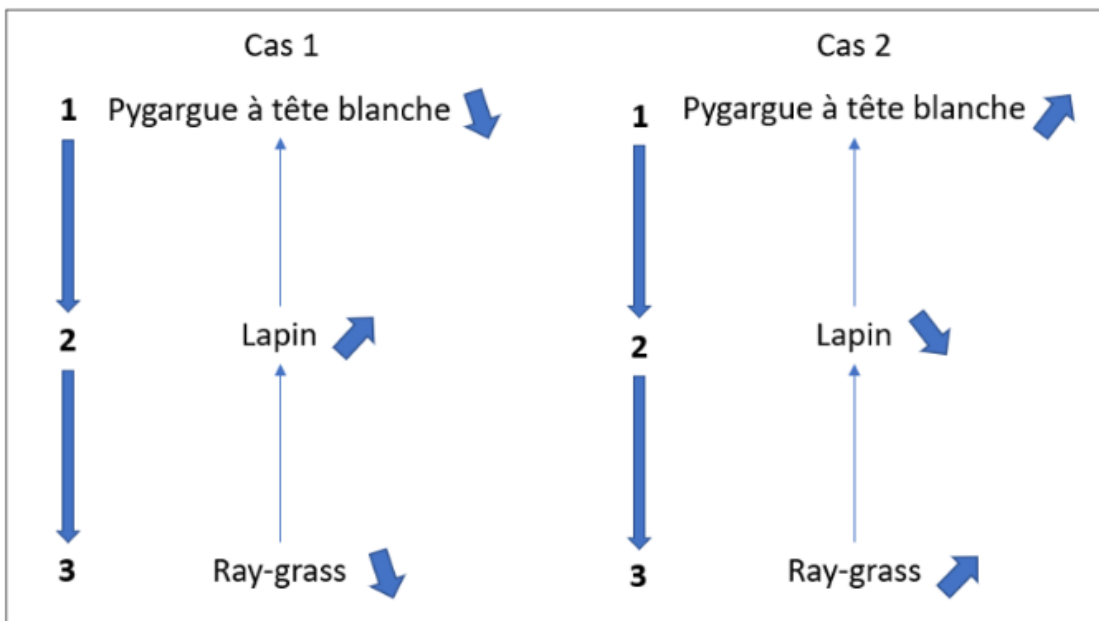


Figure 10. Représentation de l'indice donné aux élèves pour la question "Post cascade".

À la fin de cette partie se trouve également une question de métacognition, qui a été rajoutée après le test préliminaire, ainsi qu'une série d'affirmations sous la forme d'une échelle de Likert à 4 niveaux (questions 6 et 7 ci-dessous).

- 6) En quelques mots, expliquez les connaissances que le jeu vous a apportées.
- 7) Donnez votre avis en cochant la case adéquate sur les différentes affirmations ci-dessous.
 - a. Les règles du jeu sont simples à comprendre.
 - b. Le jeu vous a paru amusant.
 - c. Vous avez compris facilement les interactions entre les espèces.
 - d. Votre fiche secrétaire vous a aidé à répondre aux questions 1 à 5 de ce questionnaire.
 - e. Les fiches secrétaires des autres groupes vous ont aidé à répondre aux questions 1 à 5 de ce questionnaire.
 - f. La communication au sein de l'équipe vous a permis d'enlever les espèces les moins impactantes afin de ne pas dégrader trop rapidement l'écosystème.
 - g. La communication au sein de l'équipe vous a aidé à répondre aux questions 1 à 5.
 - h. Le jeu vous a permis d'acquérir de nouvelles connaissances
 - i. Une leçon par le jeu vous permet d'apprendre plus facilement qu'une leçon traditionnelle
 - j. Vous auriez joué au jeu avec la même stratégie si vous étiez seul face à celui-ci.

La question 6 a pour objectif de faire réfléchir les élèves sur ce qu'ils ont appris. Elle doit permettre de faire ressortir les réponses ou les conceptions des deux concepts d'espèce « clé de voûte » et de « cascade trophique » avec leurs mots. Si un élève a compris un des deux concepts mais n'a pas réussi à le nommer dans la question correspondante, cette question est censée permettre de détecter sa bonne compréhension.

2.7. Tri des réponses

2.7.1. Pré et post-test (question 1 à 5b)

Le tri des réponses consiste à prendre l'ensemble des copies et à regarder pour chaque question les réponses données par les élèves. Celles-ci ont été catégorisées par ordre décroissant pour chaque question afin de permettre une vue plus globale des données. Les réponses ayant eu

moins de cinq répondant seront regroupées dans une seule catégorie nommée « Réponses autres ». Un détail de ces réponses sera repris dans les Annexes 2 et 3¹.

2.7.2. Outil psychométrique (échelle de Likert)

Les affirmations sont à classer suivant les modalités de l'échelle de Likert suivante :

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Plutôt d'accord
- Totalemment d'accord

Il a été choisi volontairement d'avoir un nombre pair de modalités afin d'obliger les élèves à se positionner. Si un élève ne coche aucune case, la réponse est considérée comme une abstention.

2.8. Analyse

Une fois tous les résultats encodés, trois histogrammes cumulés (pré-test, post-test et échelle de Likert) ont été réalisés grâce au logiciel R. Un code couleur commun a été choisi pour les deux premiers. Du bleu représente les réponses attendues. Un dégradé de rouge pour les mauvaises réponses. Peu importe l'histogramme, « Réponse X1 » rouge foncé dans le graphique représente pour chaque question la réponse incorrecte émanant du plus grand effectif, « Réponse X2 » orange dans le graphique représentant le second effectif etc. Le jaune est la couleur des réponses incorrectes ayant eu moins de cinq répondants et du gris pour les abstentions.

Afin de pouvoir comparer les deux questionnaires, il a fallu changer l'ordre des questions du post-test afin de faire correspondre les questions sujettes à être comparées. De plus, pour faciliter la lecture, les questions ont été renommées et cette notation sera celle utilisée dans la suite du texte comme on peut le voir dans le Tableau 1.

L'ordre initié par le Tableau 1 sera repris pour la représentation des graphiques et des tableaux dans la partie « Résultats ».

¹ Les réponses n'ayant été notées qu'une seule fois sont retranscrites telles que les élèves les ont écrites. Il en sera de même pour toutes les retranscriptions de réponses dans la suite du texte.

Tableau 1. Changement d'ordre et d'appellation des questions du pré et post-test.

Pré-test		Post-test	
Question 1	Pré chaîne forêt	Question 4	Post chaîne forêt
Question 2	Pré importance	Question 2	Post importance
Question 3	Pré clé de voûte	Question 3 b)	Post clé de voûte
Question 4	Pré cascade	Question 5 a)	Post cascade
Question 5	Pré lien	Question 5 b)	Post lien
		Question 1	Chaîne Yellowstone
		Question 3 a)	Espèce

Pour les questions « Pré chaîne forêt » et « Post chaîne forêt », une analyse supplémentaire a été réalisée. Sur chaque copie, une relation proie-prédateur a été sélectionnée aléatoirement afin de vérifier si elle était correcte ou non. Cela a pour but de mettre en avant les connaissances des relations trophiques des élèves avant le jeu et de comparer ces connaissances après le jeu. L'objectif est de voir si le jeu leur a donné de nouvelles connaissances sur des relations trophiques qui n'apparaissent pas dans le jeu. La comparaison est réalisée sur le logiciel R grâce au test de proportion sur deux échantillons indépendants. Ce test a constitué un contrôle négatif, le jeu n'étant pas supposé apporter d'informations concernant les relations trophiques de l'écosystème considéré.

Les affirmations de l'échelle de Likert présentes dans les questionnaires ont également été renommées par facilité de compréhension pour la suite comme le montre le Tableau 2.

Tableau 2. Changement d'appellation des affirmations de l'échelle de Likert.

Questionnaire	
Affirmation a	Règle
Affirmation b	Amusement
Affirmation c	Interaction
Affirmation d	Votre FS ²
Affirmation e	Autres FS
Affirmation f	Communication jeu
Affirmation g	Communication questionnaire
Affirmation h	Connaissances
Affirmation i	Apprentissage
Affirmation j	Stratégie

Pour analyser les réponses de l'échelle de Likert, les réponses des élèves ont été regroupées en deux catégories. Toutes les réponses « Pas du tout d'accord » et « Pas d'accord » dans une et les deux autres modalités dans une autre. Cela permet de faire une loi binomiale sur ces données afin d'analyser la probabilité d'obtenir ces réponses.

3. Résultats

Les résultats ci-dessous présentent en premier lieu les données récoltées grâce au pré-test, dans un second temps, celles obtenues lors du post-test et finalement celles collectées via la série d'affirmation mobilisant une échelle de Likert.

3.1. Pré-test

Sur les 153 répondants, 95 présentaient une réponse correcte (62,1%) et aucune abstention pour la question « Pré chaîne forêt » tandis qu'il y a eu 71 réponses correctes (46,4%) et 1 abstention (0,7%) pour la question « Pré importance ».

Pour la question « Pré clé de voûte », il y a eu 50 réponses correctes (32,7%) ainsi que 35 abstentions (22,9%). Voici la liste des différentes réponses incorrectes (44,4%) obtenues pour la définition d'une espèce clé de voûte :

² Fiche secrétaire (FS)

- Réponse X1 (13%) : C'est une espèce qui fait le lien entre plusieurs, elle est intermédiaire dans la chaîne trophique.
- Réponse X2 (10,5%) : C'est le premier maillon de la chaîne trophique et correspond donc aux végétaux.
- Réponse X3 (3,8%) : Ce sont les décomposeurs qui permettent de dégrader les individus morts.
- Réponse X4 (3,3%) : C'est le dernier maillon de la chaîne trophique et correspond donc aux super-prédateurs.
- Réponse X5 (3,3%) : C'est une espèce qui peut en remplacer une autre si cette dernière disparaît de l'écosystème.
- Réponses incorrectes autres (10,5%)

Les réponses correctes obtenues pour la question « Pré cascade » sont au nombre de 6 (3,9%). Il y a eu 65 abstentions (42,5%) et les réponses incorrectes (53,6%) se répartissent comme suit :

- Réponse X1 (26,2%) : La disparition d'une espèce entraîne la chute de l'écosystème.
- Réponse X2 (15,7%) : C'est une suite de proies et prédateurs qui s'enchaînent pour former une chaîne trophique.
- Réponse X3 (3,9%) : Un changement dans la chaîne alimentaire provoquerait une cascade (le type de cascade n'est pas spécifié par les élèves).
- Réponses incorrectes autres (7,8%)

La question « Pré lien » a obtenu 34 réponses correctes (22,2%) et 80 abstentions (52,3%). Les réponses incorrectes (25,5%) se composent comme suit :

- Réponse X1 (7,9%) : L'espèce clé de voûte permet de maintenir le concept de cascade trophique dans l'écosystème, c'est-à-dire la suite des espèces dans la chaîne alimentaire.
- Réponse X2 (7,2%) : Les espèces clé de voûte permettent de maintenir l'écosystème après que la cascade trophique ait eu lieu.
- Réponse X3 (3,9%) : L'espèce clé de voûte représentée par les végétaux disparaît, tout le reste de la chaîne alimentaire va disparaître via une cascade trophique.
- Réponses incorrectes autres (6,5%)

La Figure 11 montre pour chaque question la proportion des réponses obtenues.

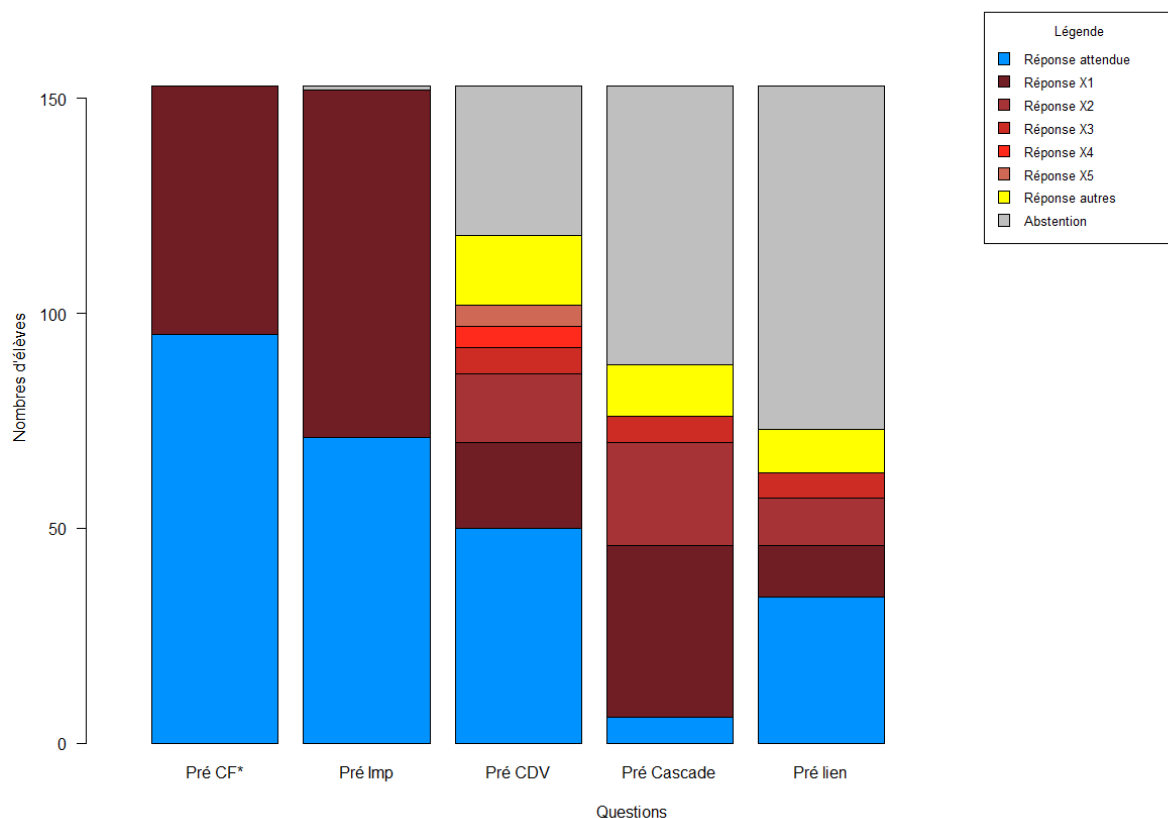


Figure 11. Histogramme cumulé des réponses aux différentes questions du pré-test. « Pré CF » correspond à la question « Pré chaîne forêt », « Pré imp » à la question « Pré importance » et « Pré CDV » à la question « Pré clé de voûte ». L'astérisque permet de montrer la question ayant subi une analyse supplémentaire.

3.2. Post-test (partie théorique)

Sur les 150 répondants, 140 présentaient une réponse correcte (93,3%) et aucune abstention pour la question « Chaîne Yellowstone » tandis qu'il y a eu 134 réponses correctes (89,3%) et 3 abstentions (2,0%) pour la question « Post importance ».

La question « Espèce » a obtenu 71 réponses correctes (47,3%) et 2 abstentions (1,3%) ainsi que les réponses incorrectes (51,4%) suivantes :

- Réponse X1 (10,0%) : Le ray-grass.
- Réponse X2 (8,0%) : Les végétaux (soit les végétaux soit plusieurs espèces mentionnées)
- Réponse X3 (6,7%) : Le lapin.
- Réponse X4 (6,7%) : Le wapiti.
- Réponse X5 (4,7%) : Les grands prédateurs.
- Réponse X6 (4,7%) : Le spermophile.

- Réponse autres (10,6%)

La question « Post clé de voûte » a obtenu 112 réponses correctes (74,7%) et 2 abstentions (1,3%). Voici les mauvaises réponses obtenues :

- Réponse X1 (7,3%) : C'est le dernier maillon de la chaîne trophique et correspond donc aux super-prédateurs.
- Réponse X2 (6,7%) : C'est un élément de la chaîne alimentaire qui se retrouve souvent au milieu de celle-ci afin de pouvoir manger et être mangé.
- Réponse X3 (5,3%) : C'est une espèce qui permet le maintien et la régulation d'autres espèces.
- Réponses incorrectes autres (4,7%)

La question « Post chaîne forêt » a obtenu 135 réponses correctes (90%) et aucune abstention.

Au niveau de la question « Post cascade », il y a eu 68 réponses correctes (45,3%) et 2 abstentions (1,3%). La liste suivante reprend les réponses incorrectes (53,4%) :

- Réponse X1 (38%) : La disparition d'une espèce engendre l'effondrement de l'écosystème (par exemple s'il n'y a plus de végétaux, les herbivores ne peuvent plus se nourrir provoquant leur disparition et donc les prédateurs ne sauront plus manger d'herbivores, etc.).
- Réponse X2 (8,8%) : C'est l'enchaînement des espèces dans une chaîne alimentaire (Végétal → herbivore → carnivore).
- Réponse X3 (3,3%) : C'est la disparition de l'espèce clé de voûte qui entraîne le déclin d'autres espèces.
- Réponses incorrectes autres (3,3%)

La question « Post lien » a obtenu 90 réponses correctes (60%) et 15 abstentions (10%). Les mauvaises réponses (30%) sont :

- Réponse X1 (10%) : S'il manque l'espèce clé de voûte dans la cascade trophique (représentée comme une succession d'espèces), alors elle se brisera.
- Réponse X2 (6,7%) : Si une espèce disparaît, cela aura un énorme impact sur l'écosystème.
- Réponse X3 (4,6%) : L'espèce clé de voûte et la cascade trophique sont utiles au maintien de l'écosystème.
- Réponses incorrectes autres (8,7%)

On peut voir dans la Figure 12 la répartition des réponses pour chaque question.

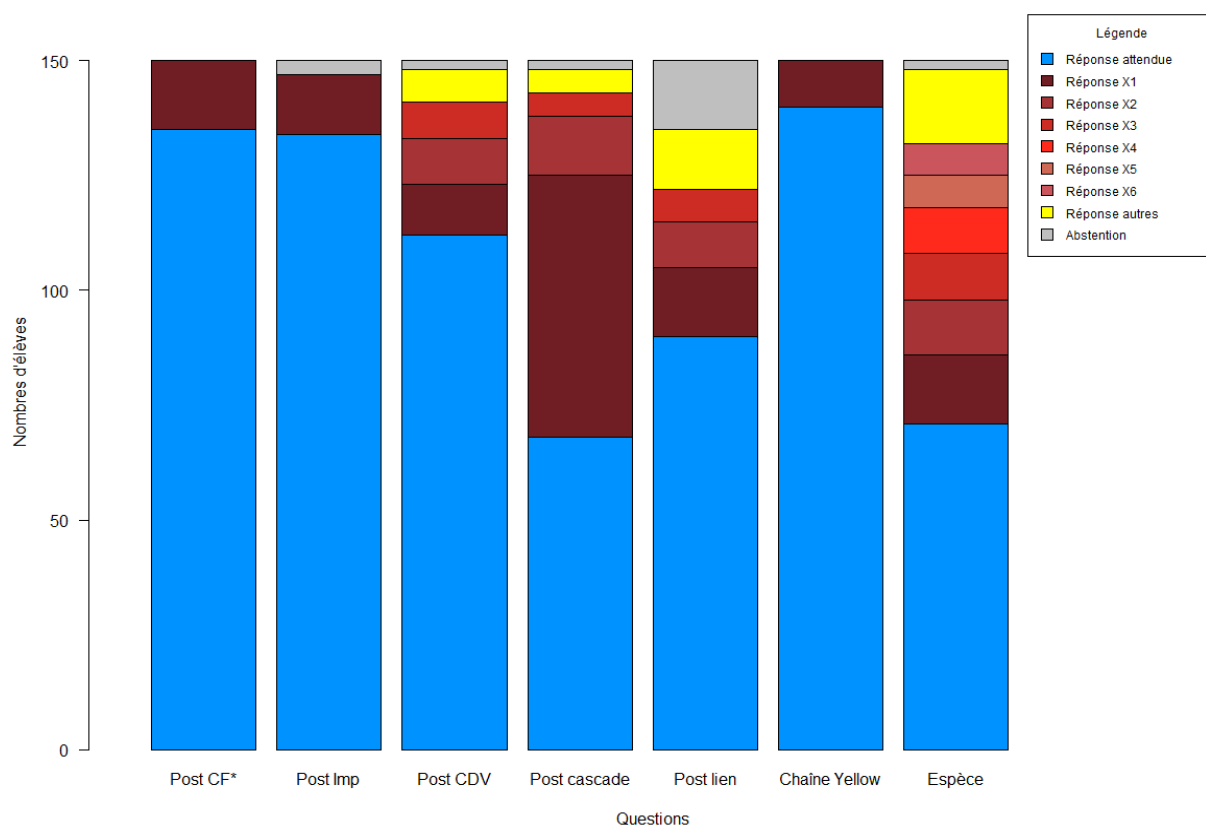


Figure 12. Histogramme cumulé des réponses aux questions 1 à 5b) du post-test. « Post CF » correspond à la question « Post chaîne forêt », « Post imp » à la question « Post importance », « Post CDV » à la question « Post clé de voûte » et « Chaîne Yellow » à la question « Chaîne Yellowstone ». L'astérisque permet de montrer la question ayant subi une analyse supplémentaire.

3.3.Comparaison résultats pré et post-test

L'ensemble des pourcentages des réponses obtenues pour le pré-test sont recensées dans le Tableau 3.

Tableau 3. Pourcentage de réponse de chaque question du pré-test où "Réponse A" correspond aux réponses correctes et "Réponse X" aux incorrectes.

	Question « Pré chaîne forêt »	Question « Pré importance »	Question « Pré clé de voûte »	Question « Pré cascade »	Question « Pré lien »
Réponse A	62,1	46,4	32,7	3,9	22,2
Réponse X	37,9	53,0	44,4	53,6	25,5
Abstention	0	0,6	22,9	42,5	52,3

L'ensemble des pourcentages des réponses obtenues pour le post-test sont recensées dans le Tableau 4.

Tableau 4. Pourcentage de réponse de chaque question du post-test où "Réponse A" correspond aux réponses correctes et "Réponse X" aux incorrectes.

	Question « Post forêt »	Question « Post importance »	Question « Post clé de voûte »	Question « Post cascade »	Question « Post lien »	Question « Chaîne Yellowstone »	Question « Espèce »
Réponse A	90,0	89,3	74,7	45,3	60,0	93,3	47,3
Réponse X	10,0	8,7	24,0	53,4	30,0	6,7	51,4
Abstention	0	2,0	1,3	1,3	10,0	0	1,3

On peut voir le nombre de relations trophiques correctes et incorrectes permettant de réaliser le test statistique des questions « Pré chaîne forêt » et « Post chaîne forêt » dans le Tableau 5.

Tableau 5. Nombre de relations trophiques, prise aléatoirement, correctes et incorrectes pour les question "Pré chaîne forêt" et "Post chaîne forêt".

	Pré chaîne forêt	Post chaîne forêt
Correcte	91	92
Incorrecte	62	56
Abstentions	0	2
Total	153	150

Une p-valeur de 0,63 a été obtenue suite au test de proportions sur les deux échantillons indépendants précédent permettant de réaliser le contrôle négatif. Elle indique donc une acceptation de l'hypothèse nulle avec un alpha de 5%. C'est-à-dire qu'il n'y a, statistiquement parlant, pas de différence entre ces 2 échantillons.

3.4. Questions avec indice

Le Tableau 6 reprend les 3 questions pour lesquelles un indice peut être donné et montre les pourcentages de réponses en prenant ou non en compte l'indice. Le tableau répertoriant précisément le nombre d'élèves ayant reçu un indice se trouve dans l'Annexe 4.

Tableau 6. Pourcentages des réponses aux questions pouvant avoir un indice en séparant ceux-ci avec l'indice et avec et sans l'indice. "Réponse A" correspond aux réponses correctes et "Réponse X" aux incorrectes.

	Question « Post clé de voûte » sans indice	Question « Post clé de voûte » avec et sans indice	Question « Post cascade » sans indice	Question « Post cascade » avec et sans indice	Question « Espèce » sans indice	Question « Espèce » avec et sans indice
Réponse A	78,4	74,7	35,8	45,3	46,5	47,3
Réponse X	20,3	24,0	62,9	53,4	52,5	51,4
Abstention	1,3	1,3	1,3	1,3	0	1,3

3.5. Questions de métacognition

Parmi tous ceux qui ont répondu incorrectement à la question « Post clé de voûte » et « Post cascade », aucun élève n'a répondu à cette question de métacognition par une définition ou une explication montrant une compréhension d'un des concepts. Cependant, cette question peut mettre en évidence que 29,3% des élèves comprennent que la disparition d'une espèce peut entraîner la disparition d'autres comme le montrent les trois citations ci-dessous :

- « Cela m'a permis de me rendre compte que certaines espèces peuvent être impactées par la disparition d'une autre même si elles n'ont pas de relation prédateur-proie. Et qu'il est très difficile de sauver des espèces à partir du moment où on en enlève certaines. »
- « Je me suis rendue compte de la multiplicité des impacts que peut avoir la disparition d'une seule espèce. »
- « Le jeu m'a permis de comprendre les différents liens entre les espèces d'un écosystème et des conséquences de la disparition d'une espèce sur le reste des espèces de l'écosystème. »

Les citations qui vont suivre sont des réponses d'élèves mettant en avant le jeu et les potentiels avantages qu'ils ont perçus.

- « Ce jeu permet de plus facilement se rendre compte des impacts que les espèces ont les unes sur les autres et de la conséquence des disparitions de ces dernières. Il met en valeur le fait que toutes les espèces sont liées et sont importantes à la stabilité d'un écosystème même si certaines sont plus impactantes que d'autres. »

- « Il m'a permis d'avoir des exemples concrets en lien avec une nouvelle théorie. Ce qui m'a permis de comprendre par moi-même. »
- « Je savais déjà une partie de ce qu'on a vu mais au jeu, je me suis réellement rendu compte de l'importance de chaque individus dans l'écosystème. »
- « Le jeu permet de s'impliquer car on est à plusieurs et tout le monde complète les idées de le monde donc on s'implique, on s'amuse et du coup cela nous permet de ne pas décrocher (comme à un cours habituelle) et de comprendre par soi même ce qui est bcp plus enrichissant et facile à appliquer lors d'un test ou d'un exercice. »

3.6. Outil psychométrique (échelle de Likert)

La Figure 13 montre les proportions des différentes réponses données par les 150 élèves. Les affirmations présentes peuvent être regroupées en 4 catégories distinctes.

- Le côté ludique et pratique du jeu (affirmation « Règle » et « Amusement »)
- L'acquisition de connaissances par les élèves (affirmation « Interaction », « Connaissances » et « Apprentissage »)
- L'utilité des fiches secrétaires (affirmation « Votre FS » et « Autres FS »)
- La coopération et la communication (affirmation « Communication jeu », « Communication questionnaire », et « Stratégie »)

On peut voir qu'il y a une majorité de « Plutôt d'accord » et de « Totalemment d'accord » peu importe l'affirmation à l'exception de l'affirmation « Autres FS » et la « Stratégie ».

Le Tableau 7 reprend les différents résultats de la loi binomiale pour chaque affirmation du questionnaire. La valeur mentionnée montre la probabilité qu'on observe ce nombre de réponses obtenues à chaque affirmation sous l'hypothèse qu'il y aurait 50% de d'accord et 50% de pas d'accord. Les affirmations sont classées par ordre croissant de probabilité afin de voir directement la valeur minimale et maximale et donc l'affirmation associée.

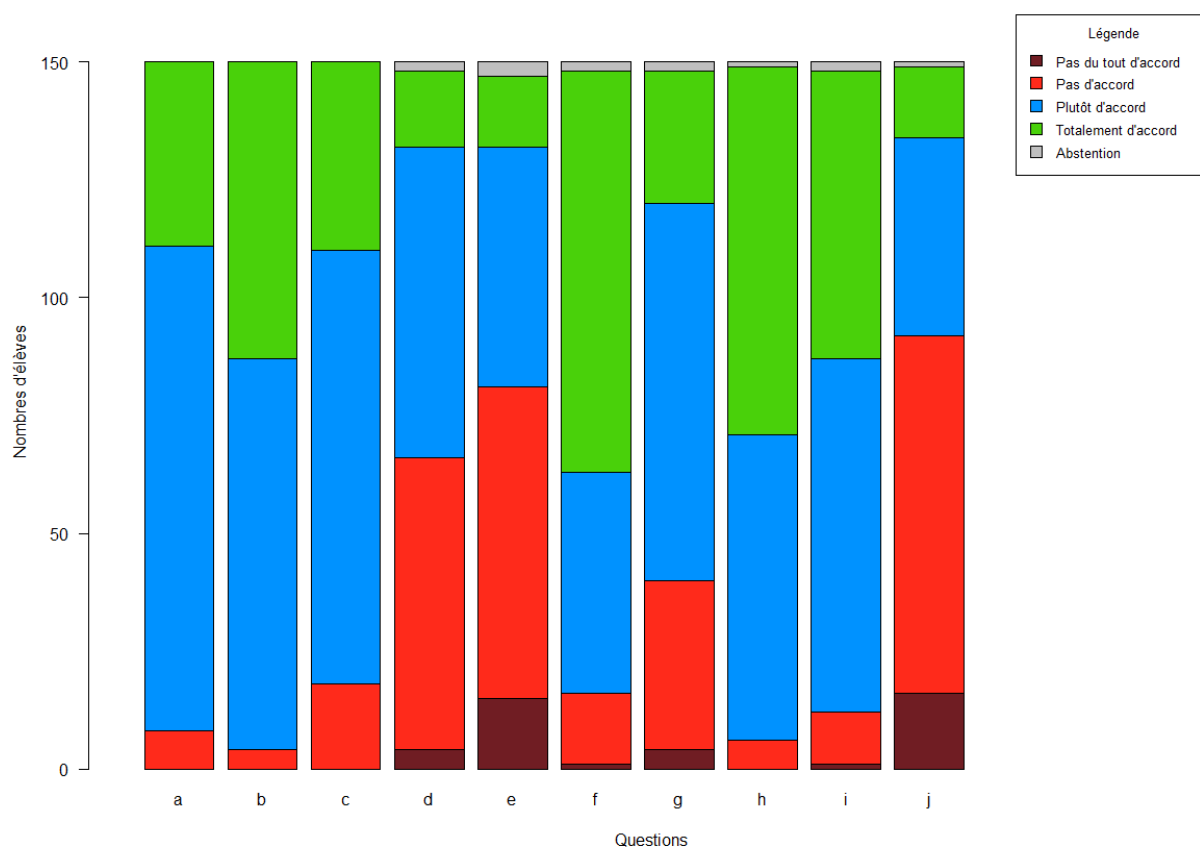


Figure 13. Histogramme cumulé des réponses des élèves aux affirmations de l'échelle de Likert. a (Règle), b (Amusement), c (Interaction), d (Votre FS), e (Autres FS), f (Communication jeu), g (Communication questionnaire), h (Connaissance), i (Apprentissage), j (Stratégie).

Tableau 7. Visualisation des valeurs obtenues pour chaque affirmation de l'échelle de Likert suite à la réalisation de la loi binomiale.

Affirmation	Probabilité d'observer le résultat
Amusement	$1,42^{-38}$
Connaissances	$1,92^{-35}$
Règle	$3,68^{-33}$
Apprentissage	$4,09^{-28}$
Communication jeu	$3,06^{-24}$
Interaction	$5,59^{-23}$
Communication questionnaire	$6,63^{-9}$
Stratégie	$1,06^{-3}$
Votre fiche secrétaire	$2,77^{-2}$
Autres fiche secrétaire	$3,07^{-2}$

4. Discussion

L'utilisation de matériel didactique ludique en cours de biologie en 6^{ème} secondaire sciences générales permet de mettre en place un processus de différenciation pédagogique. Ce mémoire a pour but de vérifier si le jeu « Mission Yellowstone » permet un apprentissage du concept d'espèce « clé de voûte » et de « cascade trophique ».

4.1. Analyse et comparaison du pré et post-test

On constate que toutes les questions ont obtenu plus de réponses correctes lors du post-test que lors du pré-test.

Il a été remarqué que cinq groupes, toutes écoles confondues, réussissent à gagner la partie malgré le fait que le loup ait été enlevé en premier lors de la deuxième partie, celle pour laquelle la première espèce enlevée est imposée. Ces groupes seront nommés « groupe-loup » dans la suite du texte. La disparition du loup provoquant le plus d'impacts sur le maintien d'autres espèces de l'écosystème, cette espèce devrait stratégiquement compter parmi celles qu'il faut garder le plus longtemps. Cela paraît normal étant donné que le loup, de par son rôle structurant, est ici considéré comme l'espèce clé de voûte. De ce fait, il ne semble pas logique qu'une victoire soit possible lorsque cette espèce est enlevée la première. Lorsque le loup est enlevé en premier de l'écosystème, très peu de choix permettent de mener à la victoire du jeu. Les possibilités sont plus nombreuses lorsqu'une autre espèce est enlevée. Cependant, la victoire des « groupe-loup » a montré que les élèves ont réussi à réaliser les bons choix leur permettant la réussite du jeu. Cela reste une hypothèse car le hasard aurait pu amener les élèves à ces victoires. Cependant, ces dernières pourraient nuire à la compréhension des concepts. En effet, lors de la mise en commun, les autres groupes verront que la victoire est possible en enlevant le loup en premier lieu. Il est possible que certains en déduisent que le loup n'est pas une espèce si importante dans l'écosystème. Cela les induira donc en erreur car la stratégie mise en place par les « groupe-loup » pourrait être responsable de ce résultat. Il est évidemment impossible de préciser aux autres que même si le loup est enlevé en premier et que le groupe a réussi à gagner, il est d'une importance cruciale dans la structuration de l'écosystème, sans quoi une information capitale leur serait donnée indirectement. Il aurait pu être judicieux de réaliser un retour collectif sur les différentes parties afin que les « groupe-loup » puissent expliquer aux autres qu'ils ont dû choisir rigoureusement les espèces à enlever afin d'arriver à leur victoire.

Le maintien de l'écosystème dans les « groupe-loup » s'explique peut-être par une familiarité aux jeux de société pour certains élèves. Leur stratégie de jeu était fonctionnelle et cela peut être dû au fait qu'ils sont habitués à jouer à d'autres jeux de société dans un cadre privé. Il est également possible que ce soit la chance et leur adaptabilité face au jeu qui explique ce résultat. Cela pourrait se vérifier uniquement en interrogeant les élèves ayant réussi à gagner de cette façon malgré la contrainte. Il faut tout de même spécifier que le jeu proposé reste assez simple et que la familiarité au jeu pourrait avoir un impact plus important lors de jeux bien plus complexes que celui proposé.

La seconde hypothèse serait une mauvaise calibration du jeu lors de sa conception. Il est possible qu'il n'y ait pas eu assez de tests au préalable et qu'il n'a donc pas été mis en évidence qu'une victoire est possible tout en enlevant le loup en premier lieu. Si un plus grand nombre de tests avaient été réalisés en amont des tests en classe il aurait été possible de vérifier cette hypothèse (Dartevelle, 2004). Cependant, cette hypothèse est apparue une fois l'activité réalisée dans l'ensemble des classes. Elle ne peut plus réellement être vérifiée mais elle doit être prise en compte.

Le nombre d'abstentions aux questions du post-test a diminué peu importe la question et cela est également vrai même si l'on considère toutes les réponses ayant eu un indice comme une abstention. Il est possible que le fait d'avoir travaillé la matière à travers le jeu ait fourni aux élèves des éléments de réflexion qui leur ont permis de proposer une réponse qu'elle soit correcte ou non. Éléments qu'ils n'avaient pas lors du pré-test. De plus, le nombre de réponses correctes a augmenté entre les deux tests.

L'hypothèse d'une hausse de confiance en soi peut aussi être mise en avant. Il faudrait une analyse plus poussée et surtout un questionnement auprès des élèves pour savoir si réellement le jeu a permis cette hausse ou si un autre paramètre est intervenu. D'après le cadre européen commun de référence pour les langues (CECRL), un enseignement ludique permet aux élèves de s'incarner dans la peau d'un personnage réalisant des actions fictives. Cette simulation permet aux élèves de sortir du cadre du réel, où leurs choix n'auront pas de conséquences réelles, et donc de prendre confiance dans leurs actions (De l'Europe, 2003).

Au niveau des questions « Pré/Post chaîne forêt » et « Chaîne Yellowstone », les résultats sont difficilement analysables au vu de l'erreur de vocabulaire présente dans la question. Il est demandé de représenter la chaîne trophique (succession linéaire de relations trophiques) alors qu'un réseau (relations trophiques interconnectées et mises en relation les unes avec les autres)

est attendu comme réponse. La différence qui est vue entre les deux questionnaires peut être due au fait que pour répondre à la question « Chaîne Yellowstone », les élèves étaient en groupe et ont donc pu échanger leurs idées. Cette discussion aura donc impacté également la réponse à la question « Post chaîne forêt » de ce même questionnaire et ce même si la question était mal formulée.

Les questions « Pré/Post importance » doivent nécessiter une attention particulière car les formulations différentes entre les deux questions font qu'elles ne peuvent pas être comparées l'une à l'autre surtout que lors du post-test, la question a été répondue en groupe. De plus, dans la question « Pré importance », il faut faire attention à ce que l'élève considère comme une importance différente. Il y a peut-être eu des biais car sans questionner l'élève, il n'est pas certain qu'il considère la notion de la même façon que la réponse attendue.

Par contre si l'on considère les questions « Pré/Post chaîne forêt » d'un point de vue connaissance générale, c'est-à-dire les connaissances que les élèves ont des relations trophiques entre les différentes espèces dans cet écosystème, on peut supposer que le jeu n'a pas amélioré leur connaissance vis-à-vis des relations directes entre espèces. En effet, le test de proportion sur deux échantillons indépendants montre que les réponses aux deux questions ne sont pas considérées comme différentes. C'est un résultat qui était attendu car le jeu n'informe en rien sur les relations trophiques existantes dans cet écosystème. Il est donc logique qu'il n'y ait pas eu d'amélioration de leur connaissance générale à ce sujet.

4.2. Question Pré/Post clé de voûte

Afin de pouvoir répondre plus en profondeur à la question de recherche, il faut tout d'abord se baser sur la comparaison entre ces deux questions demandant la définition du concept d'espèce « clé de voûte ». Il faut relever que plus du double des élèves ont répondu correctement à cette question après avoir joué au jeu. Il est donc envisageable qu'un des objectifs du jeu, c'est-à-dire une acquisition du concept d'espèce « clé de voûte » soit en partie atteint.

Les abstentions en diminution semblent indiquer que même si l'élève n'a pas la réponse attendue, le jeu lui a permis de tenter de répondre à la question. Il s'est senti assez en confiance ou assez informé et outillé pour proposer une réponse. Dans une étude réalisée par Lubineau et al. (2022), il est expliqué que même si une hausse de confiance en soi est relevée pour des élèves ayant eu accès à un dispositif ludique, elle n'implique pas forcément de meilleurs résultats que ceux n'y ayant pas eu accès.

Il est cependant important de soulever la question suivante : vaut-il mieux oser se lancer pour donner une définition incorrecte ou s'abstenir et reconnaître la limite de sa connaissance ?

4.3. Question Pré/Post cascade

Ces deux questions vont permettre de mettre en avant l'apprentissage du concept de « cascade trophique ». Les résultats, comme pour la question précédente, permettent de montrer que le jeu « Mission Yellowstone » permet à une proportion non-négligeable d'élèves d'acquérir la notion voulue.

Il faut tout de même préciser que même si le facteur multiplicatif est important, la proportion de réponses correctes lors du post-test reste quand même relativement faible. Il ne faut donc pas considérer le jeu comme une solution unique. D'autre part, le décret mission indique que l'hétérogénéité des élèves doit être prise en compte. Le jeu est un dispositif qui peut ne pas correspondre à la façon d'apprendre de tous. Dès lors, il semble primordial de mettre en place d'autres dispositifs afin de permettre à un maximum d'élèves d'acquérir les connaissances voulues (Moldoveanu et al., 2016; Nootens et al., 2012; Parlement de la Communauté Française et le gouvernement, 2018).

4.4. Question Pré/Post lien

Le lien entre espèce clé de voûte et cascade trophique est mieux maîtrisé après l'utilisation du jeu. Soixante pourcents des élèves sont ainsi capables d'établir le lien de causalité entre les deux sans qu'une compréhension formelle des deux concepts soit réellement identifiée. En effet, le nombre de réponses correctes à la question « Post cascade » est inférieur à celle « Post lien ». Ce constat met en évidence que certains élèves ont correctement fait le lien tout en ayant une mauvaise compréhension d'un des deux concepts.

Il est ainsi suggéré que le jeu leur a permis de mettre en lien la cause et la conséquence indépendamment de la compréhension de ces deux dernières. Il faut rappeler que lors du pré-test, il était demandé aux élèves de répondre à la question « Pré lien » uniquement s'ils ont donné une réponse pour les questions « Pré clé de voûte » et « Pré cascade ». Suite à cela, il est possible d'émettre l'hypothèse que même si les consignes ne les empêchaient pas de répondre à la question, ils n'y auraient probablement pas répondu. En effet, il est compliqué de mettre en relation deux concepts sans avoir une idée de la signification de l'un d'eux. Ces résultats sont donc à considérer très précautionneusement.

4.5. Question de métacognition

Aucune définition des deux concepts n'a été relevée dans les copies d'élèves qui ont donné une réponse incorrecte aux autres questions. Ce biais de compréhension incomplète des concepts n'a donc pas été mis en évidence par les réponses apportées.

Par contre, cette question a permis de mettre en évidence une remise en question des conceptions des élèves. Sept élèves ont mentionné le fait qu'ils ont compris que les végétaux n'étaient pas forcément le maillon le plus important d'un réseau trophique. On peut citer « La clé de voûte n'est pas nécessairement un végétal (1^{er} degré de la chaîne alimentaire), il peut s'agir d'un prédateur d'influence majeur. » ou « Contrairement à ce que j'aurai pu penser, les derniers individus sont aussi voire plus importants que les premiers de la chaîne alimentaire (végétaux) qui selon moi était la base d'un bon équilibre. ». De plus, 46 élèves ont mentionné avoir compris que les espèces au sein d'un écosystème n'ont pas toute la même importance. On peut citer « Ça a permis de comprendre l'importance qu'on toutes les espèces au sein d'un écosystème, chacune est différente mais elle joue un rôle essentiel. » ou « Ce jeu permet de plus facilement se rendre compte des impacts que les espèces ont les unes sur les autres et de la conséquence des disparitions de ces dernières. Il met en valeur le fait que toutes les espèces sont liées et sont importantes à la stabilité d'un écosystème même si certaines sont plus importantes que d'autres. ».

Ces deux exemples permettent de mettre en avant une compréhension de l'interdépendance existante au sein d'un écosystème. Cette notion doit être connue des élèves, encore plus que les deux concepts suggérés de base par le jeu. Les réponses des élèves suggèrent donc que le jeu peut apporter des concepts autres que celui d'espèce « clé de voûte » et de « cascade trophique ».

De plus, les phrases marquantes recensées dans la partie « Résultat » mettent en avant certains avantages de la pédagogie par le jeu comme celui de rendre concret des notions théoriques ou d'augmenter la capacité d'attention (Alvarez et al., 2016 ; Moldoveanu et al., 2016). Il faut tout de même préciser que certains prérequis peuvent ne pas toujours être acquis des élèves comme le suggère cette phrase : « Je savais déjà une partie de ce qu'on a vu mais au jeu, je me suis réellement rendu compte de l'importance de chaque individu dans l'écosystème. ». La notion d'espèce à l'air d'être confondue avec celle d'individu. Ce type d'erreur peut amener de la confusion dans les termes que le jeu emploie et par la même occasion fausser les résultats obtenus. Cela peut également perturber le dispositif d'apprentissage.

4.6. Différenciation pédagogique

Lors de l'activité, un processus de différenciation pédagogique est mis en place via les indices. Ce type de différenciation intervient dans l'aspect des processus d'enseignement et d'apprentissage comme il est mentionné dans le point « 1.2.4 Différenciation pédagogique ou pédagogie différenciée ». En effet, les élèves le demandant bénéficient d'une aide supplémentaire pour répondre à la question.

On peut se rendre compte que l'ajout d'un indice a été vraiment bénéfique pour la question « Post lien » alors qu'il l'était bien moins pour les questions « Espèce » et « Post clé de voûte ». En effet dans le premier cas, 24 élèves ayant bénéficié de l'indice sur 26 ont donné une réponse correcte. Seuls 11 élèves sur 21 ont répondu correctement aux questions « Espèce » et « Post clé de voûte » avec l'aide supplémentaire. Cela pourrait indiquer que l'indice n'était pas aussi précis ou utile. L'indice pour la « cascade trophique » est plus explicite que celui sur l'espèce « clé de voûte ». Ce dernier peut paraître plus abstrait pour les élèves et donc ils n'arrivent pas à faire un lien avec le jeu afin de donner la réponse correcte. Ils pourraient par exemple penser que la clé de voûte sur l'image représente un élément se situant en haut et transpose cela avec le haut de la chaîne trophique.

Les indices permettent donc à une plus grande partie des élèves d'oser répondre et ainsi de limiter l'abstention. C'est un processus qui est mis en place afin de correspondre aux besoins du plus grand nombre. En effet, chaque élève a une capacité d'apprentissage différente et il est donc parfois nécessaire d'apporter plus d'éléments aux élèves qui en ont besoin. Il faut donner un maximum de possibilités aux élèves afin qu'ils apprennent au mieux (Bolduc & Van Neste, 2002). L'indice de la clé de voûte représentant ce même concept en architecture est un moyen qui, d'après l'étude de Üçüncü G et al. (2020), permet de faire deviner la définition de ce terme en écologie. Les élèves voient plus facilement ce à quoi ça correspond en utilisant cette analogie (Üçüncü et al., 2020). Cependant, l'association entre le jeu et l'indice ne le démontre pas aussi bien.

La différenciation pédagogique sous l'aspect des structures organisationnelles entre également en compte dans l'activité. Le changement de place des élèves en différents groupes montre un changement dans la répartition et la disposition de la classe. Ce regroupement d'élèves va tout d'abord permettre de jouer au jeu mais également de mettre en place la coopération nécessaire dans celui-ci. En effet, les élèves vont se retrouver face à certains obstacles dans la partie comme de choisir l'espèce à enlever la moins impactante sur l'écosystème. D'un point de vue pratique,

un autre obstacle est le déplacement des jetons sur le plateau qui doit être assez efficace pour ne pas perdre de temps afin d'accorder plus de temps à la réflexion concernant la stratégie à adopter. Les élèves vont devoir s'organiser afin de pouvoir finir le jeu dans le temps imparti. La communication va donc les aider à les passer plus facilement que s'ils étaient seuls face au jeu. La coopération est aussi présente lors de la première partie du post-test (questions « Chaîne Yellowstone » et « Post importance »). Les élèves vont s'entraider afin de répondre au mieux à ces questions et ainsi potentiellement modifier leurs conceptions erronées. La communication sera développée plus en détail dans la partie suivante (Reverdy, 2016).

4.7. Outil psychométrique (échelle de Likert)

On a constaté dans la partie « 3.6. Outil psychométrique (échelle de Likert) » que le jeu a été bien perçu par les élèves car une majorité de modalités « Plutôt d'accord » et « Totale d'accord » ont été recensées pour toutes les affirmations. Afin d'analyser ces résultats plus en profondeur, il est judicieux de séparer les affirmations en 4 catégories distinctes, le côté ludique et pratique du jeu (affirmation « Règle » et « Amusement »), la coopération et la communication (affirmation « Communication jeu » « Communication questionnaire » et « Stratégie »), l'utilité des fiches secrétaires (affirmation « Votre FS » et « Autres FS ») et finalement l'acquisition de connaissances par les élèves (affirmation « Interaction », « Connaissance » et « Apprentissage »).

Pour le côté ludique et pratique du jeu, les résultats montrent un avantage pour du matériel didactique ludique car les élèves vont percevoir la leçon différemment et s'y intéresser. En effet, selon un élève « Apprendre par le jeu nous permet de moins décrocher qu'un cours normal ». La simplicité des règles pourra dès lors convenir à presque tous les élèves et engagera une participation accrue comme le montrent les travaux de Alvarez et al. (2016) mentionnant une hausse de la motivation des élèves (Alvarez et al., 2016 ; Hung et al., 2019).

Les résultats au niveau de la coopération et de la communication sont légèrement nuancés. En effet, d'après les réponses obtenues, la communication aurait permis aux élèves de jouer plus efficacement au jeu en enlevant les espèces les moins impactantes vis-à-vis des autres populations mais également de répondre plus facilement au post-test grâce à l'entraide mise en place. Cependant, lorsqu'on regarde le résultat de la question « Stratégie », la valeur (de l'ordre de 10^{-3}) peut prêter à questionnement. En effet, si la communication au sein de chaque groupe a bel et bien été présente, il aurait été plus logique d'avoir une valeur bien plus petite et similaire à la question concernant la communication dans le jeu (de l'ordre de 10^{-24}), signifiant que les

élèves auraient joué différemment s'ils s'étaient retrouvés seuls face au jeu. Or dans ce cas-ci elle indique une disparité dans les réponses. L'interprétation possible est que les élèves avaient, pour approximativement la moitié, une vision du réseau trophique et du fonctionnement d'un écosystème similaire et qu'ils ont tous proposé la même façon de jouer. Par exemple, enlever tel maillon de la chaîne et ne surtout pas enlever tel autre maillon.

Pour ce qui est de l'utilité des fiches secrétaires, les affirmations « Votre FS » et « Autres FS » semblent indiquer que l'avis des élèves est fort partagé. Il est possible que ceux n'étant pas d'accord avec les affirmations proposées n'ont pas perçu d'aide dans les fiches secrétaires. Il est également possible que certains élèves ne se soient pas rendu compte qu'ils les avaient utilisées. Une autre interprétation pourrait être qu'ils les ont utilisées uniquement pour une question et ont donc préféré noter négativement leur utilité. Il est assez difficile de déterminer l'interprétation correcte, car elles peuvent être nombreuses, sans demander directement aux élèves leur point de vue.

Finalement les résultats concernant les connaissances acquises par les élèves, sont assez unanimes lorsqu'on regarde les valeurs obtenues. Ces résultats permettent de mettre en avant le fait que les élèves considèrent avoir appris par le jeu et nous observons qu'apprendre de cette façon est un procédé globalement perçu favorablement. Ce sentiment d'auto-efficacité, défini par Bandura (1986) comme « Le jugement qu'une personne porte elle-même sur ses propres capacités d'affronter efficacement une situation difficile. », peut être remis en question. En effet, les élèves pensent avoir appris par le jeu mais est-ce réellement le cas ? L'étude de Bouffard-bouchard & Parent (1990) met en avant le fait que les élèves ayant un sentiment d'auto-efficacité plus grand aurait tendance à obtenir un nombre supérieur de réponses correctes que les élèves en ayant un moins élevé. De plus, certaines nuances doivent tout de même être énoncées. Il est à noter que certains élèves trouvent l'idée d'apprendre par le jeu très bonne mais émettent des remarques comme quoi ça ne doit pas être le seul moyen d'enseigner. L'un d'eux spécifie par exemple que « Le jeu permet d'apprendre mais cela dépend de la matière qui est vue. Il est parfois plus simple de comprendre avec un cours normal. ».

Suite à cela, il a été remarqué que les élèves, au-delà des savoirs, ont développé d'autres compétences sous forme de soft skills. Ce ne sont pas des apprentissages de savoir théorique mais plutôt de communication et d'organisation (Taylor & Corbett-Etchevers, 2021; Viviers et al., 2016). Il était donc pertinent de les analyser également. C'est ce qui va être écrit dans le point suivant.

4.8. Soft-skills

Les soft skills peuvent être d'après Bouret et al. (2014), définies comme étant « Une compétence transversale (utile en plusieurs situations différentes), que nous possédons en chacun de nous et qui aide au développement durable de l'individu dans son environnement. ». La question qui peut être posée est « Est-ce qu'un jeu éducatif peut aider les élèves à acquérir ces compétences ? ».

Une étude de Viviers et al. (2016), tente de répondre à cette question. En effet, cette équipe a répertorié certaines des différentes soft-skills qui peuvent être développées grâce à un jeu éducatif. Il peut donc être intéressant de considérer les 12 soft skills mises en avant dans l'étude et les analyser via le jeu « Mission Yellowstone ». Une partie de celles-ci sont également citées par Taylor D. (2021). Ces soft skills sont :

- **La communication verbale**
- **La communication (écoute)**
- **La résolution de problèmes**
- **Le travail d'équipe**
- **La gestion du temps**
- **L'esprit stratégique**
- Le leadership
- La conscience éthique
- L'influence des autres
- L'esprit critique
- La communication (écrite)
- Le professionnalisme

Via le jeu « Mission Yellowstone », les six premières soft skills pourraient être mises en œuvre. Certaines peuvent d'ailleurs être regroupées car sont développées via la même situation. Ces soft skills n'ont pas été mise en évidence via les résultats mais sont l'interprétation de ce qui a été observé en classe de manière non standardisée. Il est important de stipuler que ce n'est pas forcément le jeu qui leur a appris ces soft skills. Elles auraient pu être déjà présentes chez les élèves avant l'activité. Cependant, elles ont été mobilisées pendant celle-ci.

a) La communication verbale et l'écoute

Comme cela a déjà été abordé précédemment, la communication entre les élèves fait partie intégrante du dispositif comme les règles du jeu le mentionnent. Les élèves n'ont d'autre choix que de parler et de s'écouter l'un l'autre afin d'essayer de déterminer la meilleure action. Ce sera également le cas lorsqu'ils devront répondre aux questions 1 et 2 du post-test. L'échange d'idées sera primordial pour répondre au mieux aux deux questions.

b) La résolution de problèmes et l'esprit stratégique

L'esprit stratégique peut être mis en avant principalement lors de la seconde partie réalisée en classe. En effet, l'espèce qui disparaît au premier tour est imposée aux élèves. Ils font donc tous face à un problème et plus particulièrement le « groupe-loup ». Le jeu permet d'émettre l'hypothèse que l'esprit stratégique sera mobilisé. En effet, les élèves vont devoir faire des choix judicieux afin de gagner le jeu. Ils vont devoir réfléchir sur le court mais également sur le long terme en essayant d'imaginer les impacts possibles de la disparition d'une espèce de l'écosystème. C'est d'autant plus marqué chez les groupes-loup où le nombre de choix possibles pour gagner est très limité. Cependant, l'hypothèse d'une victoire grâce au hasard n'est pas à exclure.

c) La gestion du temps

Que ce soit lors des deux parties ou lors des questionnaires, savoir gérer son temps est nécessaire lors de l'activité proposée. Chaque partie ayant un temps défini, les élèves devront s'adapter et finir ce qui leur est demandé durant ce laps de temps. Au cours des parties, ils doivent faire la part des choses entre les discussions permettant de déterminer l'espèce à enlever et le déplacement des jetons sur le plateau. Le but étant de gagner, ils doivent réussir à optimiser le temps de discussion et de la manipulation des jetons. Il est intéressant de noter que lors de la première partie, c'est souvent le chronomètre qui arrête la partie et non la victoire ou la défaite. Cette remarque est inversée lors de la seconde partie. De plus, les élèves terminaient de répondre aux questionnaires majoritairement dans un laps de temps proche de celui imposé.

d) Le travail d'équipe

Cette soft skill, également abordée dans les trois paragraphes précédents, intervient principalement lors de la réflexion quant au choix d'espèces à éliminer, mais aussi lors de la manipulation des jetons. En effet, afin de ne pas se mélanger sur ce qui a déjà été déplacé et ce qui ne l'est pas, les élèves ont dû mettre de la cohésion et de la rigueur dans leur groupe. Les élèves devaient s'organiser pour savoir comment déplacer les jetons efficacement.

4.9.Limites du jeu

Certaines limites du jeu et de l'activité peuvent être développées.

La première limite fait référence au public visé. En effet, l'entièreté des tests se sont passés dans des classes de 6^{ème} générales en option sciences générales. Il serait intéressant de tester ce dispositif dans d'autres classes comme en technique de transition, de qualification, dans des filières professionnelles ou en sciences de base afin d'analyser les résultats qui seraient obtenus. S'ils sont différents, il pourrait s'avérer judicieux d'essayer de comprendre pourquoi et d'adapter l'activité en conséquence.

La deuxième limite est liée à un concept illustré par ce jeu. Il faut être critique par rapport à l'espèce « clé de voûte ». C'est-à-dire qu'il ne faut pas que les élèves puissent penser que seule cette espèce compte dans un écosystème et que si on la protège alors tout se portera pour le mieux. C'est une remarque qui doit être faite à l'ensemble de la classe une fois l'activité terminée. De plus, il faut bien insister auprès des élèves que ce n'est qu'un modèle pour leur faire comprendre et que dans des conditions réelles, les espèces ne disparaissent pas, de manière contrôlée, comme dans le jeu, l'une après l'autre. Cela permet de mettre en avant l'efficacité de la transposition didactique mise en œuvre pour la conception du jeu.

La limite suivante est la chronophagie du jeu. En effet, le temps que prend le dispositif peut paraître important par rapport à sa rentabilité en termes d'apprentissages théoriques. Les concepts abordés pourraient être vus en beaucoup moins de temps via d'autres méthodologies. Le jeu peut cependant servir également de rappel concernant d'autres concepts comme celui de « réseau trophique ». Il peut être toutefois intéressant de proposer l'activité si on prend en compte les soft skills, qui on le rappelle, concernent un autre objet d'apprentissage.

Finalement, la dernière limite se trouve être le faible taux de réponses correctes face au concept de « cascade trophique ». Au vu des réponses correctes apportées par l'indice (24/26) et le nombre de réponses correctes sans celui-ci (44/124) lors du post-test, il serait intéressant de se demander si l'indice seul ou associé au jeu ne permettrait pas un meilleur apprentissage de ce concept. Il pourrait, par exemple, être donné aux élèves sans autre indication. De là, ils devront décrire ce qu'ils observent et se construire eux-mêmes une définition du concept. Après un laps de temps défini, une mise en commun est réalisée et seulement après, le terme de « cascade trophique » apparaît comme nouveau mot de vocabulaire.

Afin d'avoir le ressenti des élèves vis-à-vis de leurs réponses, il aurait été possible d'instaurer un coefficient de certitude à chaque question. Cela permettrait de mettre en avant la prise de confiance potentielle des élèves grâce à cette auto-évaluation de leurs réponses aux questionnaires. Via ce coefficient, il serait également possible d'observer la façon dont le jeu a ancré encore plus les préconceptions ou si de nouvelles potentiellement erronées sont apparues. Pour ce faire, il faudrait regarder les préconceptions des élèves lors du pré-test et comparer les réponses incorrectes des élèves sur la même question afin de savoir s'ils ont revu à la hausse leur coefficient. Une correction en groupe après le post-test pourrait être une idée intéressante en vue de désamorcer ces préconceptions nouvelles ou plus fortement ancrées. Nous avons vu que les difficultés rencontrées en écologie sont par rapport des conceptions erronées. Il semble dès lors primordial de s'assurer que le jeu ne les implante pas durablement dans l'esprit des élèves (Echao & Romero, 2015).

5. Conclusion

En conclusion, la réponse à la question de recherche « Le jeu coopératif « Mission Yellowstone » permet-il de réaliser des apprentissages concernant le concept d'espèce « clé de voûte » et de « cascade trophique » lors d'une leçon sur l'écologie en 6ème secondaire sciences générales ? » doit être nuancée.

Au niveau du concept d'espèce « clé de voûte », la réponse est plutôt positive. On a pu constater une nette augmentation de réponses correctes après le jeu ainsi qu'une diminution des abstentions. Ces résultats permettent de mettre en avant un apprentissage de la part des élèves vis-à-vis de ce concept. Pour le second concept, la « cascade trophique », les résultats sont moins catégoriques. Il y a également une augmentation de réponses correctes. Cependant, la proportion d'élèves ayant compris le concept reste trop faible pour dire que les élèves ont acquis la notion voulue. Pour ce concept, il serait judicieux pour un enseignant de l'aborder autrement que via ce jeu afin qu'un maximum d'élèves l'acquièrent. L'analyse du document fourni comme indice semble être une perspective prometteuse et plus rentable en termes de temps investi pour rencontrer cet objectif. Il pourrait être intéressant de revoir le dispositif afin d'essayer de combler ses lacunes. Ce qui nous amène à mentionner les limites du dispositif.

Quatre limites ont été mises en évidence par ce travail. La première fait référence au public visé assez restreint. Il est à se demander s'il n'y a pas moyen de l'étendre à d'autres groupes scolaires en, adaptant le dispositif au besoin. La deuxième limite est mise en évidence par le concept

« d'espèce clé de voûte ». En effet, il ne faut pas que les élèves croient qu'il soit possible de délaisser les autres espèces d'un écosystème car seule cette espèce est importante. La limite suivante concerne le temps de l'activité. Elle est fortement chronophage et ce pour *in fine*, un faible rendement en termes d'apprentissages théoriques. Elle reste tout de même intéressante si on prend en compte les soft-skills mobilisées. Finalement, la dernière limite, comme mentionné dans le paragraphe précédent, est le faible taux de réponses correctes face au concept de « cascade trophique ».

La dernière limite rappelle donc que le jeu « Mission Yellowstone » seul, n'apporte pas un niveau de connaissance assez approfondi et qu'il doit être complété par d'autres méthodologies. Que ce soient des cours magistraux ou des sorties de terrain par exemple, l'apport théorique doit être amélioré afin de fournir aux apprenants une vision complète des concepts mobilisés et des enjeux associés. Cependant, et les élèves l'ont bien mentionné dans les résultats, une diversité d'apprentissage est nécessaire. En effet, chaque élève apprend différemment et il faut en tenir compte afin d'adapter ses cours de façon la plus optimale et toucher un maximum de publics.

Finalement, les avis des élèves, recensés grâce à l'échelle de Likert, mettent en avant le fait que l'activité a été très bien perçue et que le jeu les a motivés à apprendre. Ils ont, pour une majorité, trouvé le jeu intéressant et considèrent avoir obtenu de nouvelles connaissances.

Le dispositif proposé a donc semblé pertinent dans le cadre d'un cours sur l'écologie, mais il est primordial de rappeler qu'il doit être complété par d'autres méthodologies afin de s'assurer de l'acquisition des concepts chez les élèves ainsi que d'une vision complète des enjeux liés à l'environnement.

6. Bibliographie

- Alvarez, J., Djaouti, D., & Rampnoux, O. (2016). Apprendre avec les serious games?. Canopé éditions.
- Ameerbakhsh, O., Maharaj, S., Hussain, A., & McAdam, B. (2019). A comparison of two methods of using a serious game for teaching marine ecology in a university setting. *International Journal of Human Computer Studies*, 127, 181–189. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2018.07.004>
- Amendola, C., & Rebetez, F. (2012). Jeu coopératifs : un espace créatif pour vivre la rencontre. *Revue Pédagogique HEP Vaud*.
- Astolfi, J. P. (1997). Mots-clés de la didactique des sciences : repères, définitions, bibliographies. De Boeck.
- Ayotte-Beaudet, J. P., Chastenay, P., Beaudry, M. C., L'Heureux, K., Giamellaro, M., Smith, J., Desjarlais, E., & Paquette, A. (2021). Exploring the impacts of contextualised outdoor science education on learning: the case of primary school students learning about ecosystem relationships. *Journal of Biological Education*, 00(00), 1–18. <https://doi.org/10.1080/00219266.2021.1909634>
- Bado, N., & Franklin, T. (2014). Cooperative Game-based Learning in the English as a Foreign Language Classroom. *Issues and Trends in Educational Technology*, 2(2), 1–17. https://doi.org/10.2458/azu_itet_v2i2_bado
- Bandura, A. (1986). Social foundations of thought and action. Englewood Cliffs, NJ, 1986(23-28).
- Bandura, A. (2000). Exercise of human agency through collective efficacy. *Current Directions in Psychological Science*, 9(3), 75–78. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.00064>
- Barman, C. R., Griffiths, A. K., & Okebukola, P. A. O. (1995). High school students' concepts regarding food chains and food webs: A multinational study. *International Journal of Science Education*, 17(6), 775–782. <https://doi.org/10.1080/0950069950170608>
- Bolduc, G., & Van Neste, M. (2002). La différenciation pédagogique : travailler avec des jeunes à la fois semblables et uniques. *Vie Pédagogique, Avril-Ma*(123), 24–27.
- Bouffard-bouchard, T., & Parent, S. (1990). *Capacite Cognitive , Sentiment d ' Auto-Efficacite et Autoregulation. V*, 355–364.
- Bouret, J., Hoarau, J., & Mauléon, F. (2014). Le réflexe soft skills: Les compétences des leaders de demain. Dunod.
- Briot, J. P., De Azevedo Irving, M., Mendes De Melo, G., Vasconcelos, J. E. F., Alvarez, I., Martin, S., & Wei, W. (2011). A serious game and artificial agents to support intercultural participatory management of protected areas for biodiversity conservation and social inclusion. *Proceedings - 2011 2nd International Conference on Culture and Computing, Culture and Computing 2011*, 15–20. <https://doi.org/10.1109/Culture-Computing.2011.12>
- Brougère, G. (2002). *Jeu et loisir comme espaces d'apprentissages informels. 10*(Brougère

1995).

- Castagneyrol, B., & Cestas, F.-. (2021). *Quel enseignement de l'écologie à l'école ? Quel enseignement de l'écologie à l'école ?* November, 0–15.
- Cavalho, J. C. Q. de, Beltramini, L. M., & Bossolan, N. R. S. (2019). Using a board game to teach protein synthesis to high school students. *Journal of Biological Education*, 53(2), 205–216. <https://doi.org/10.1080/00219266.2018.1469532>
- Clark, D. B., Nelson, B., Sengupta, P., & D'Angelo, C. M. (2009). Rethinking science learning through digital games and simulations: Genres, examples, and evidence. *Proceedings of The National Academies Board on Science Education Workshop on Learning Science: Computer Games, Simulations, and Education*, 36–41.
- Clerc, J.-B., Minder, P., & Roduit, G. (2006). La transposition didactique. *Dictionnaire Des Concepts Fondamentaux Des Didactiques*. <https://doi.org/10.3917/dbu.reute.2013.01.0221>
- Dartevelle, G. (2004). *Conception d'un jeu de simulation de plateau sur le développement durable* ». 2003–2004.
- De l'Europe, C. (2003). *Cadre européen commun de référence pour les langues : apprendre, enseigner, évaluer*. <https://rm.coe.int/16802fc3a8>
- Decker, J.-C. (2013). *Cours magistral et construction des savoirs chez les élèves. Enseignement de la biologie au secondaire II. Université de Genève. Master d'études avancées*. <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:48175>
- Deutsch, M. (1962). Cooperation and trust: Some theoretical notes. *Nebraska Symposium on Motivation*, 275–320.
- Develay, M. (1987). A propos de la transposition didactique en sciences biologiques. *Aster*, 4(1), 119–138. <https://doi.org/10.4267/2042/9179>
- Eber, N. (2003). Jeux pédagogiques. *Revue d'économie Politique*, Vol. 113(4), 485–521. <https://doi.org/10.3917/redp.134.0485>
- Echao, F. S. O., & Romero, M. (2015). *Degree of certainty as a mechanism for improving assessment in online serious games. Le degré de certitude comme mécanisme d'amélioration de l'évaluation des apprentissages dans une formation en ligne basée sur les jeux sérieux*. 121–125.
- Eckert, G. U., Da Rosa, A. C. M., Busnello, R. G., Melchior, R., Masiero, P. R., & Scroferneker, M. L. (2004). Learning from panel boards: T-lymphocyte and B-lymphocyte self-tolerance game. *Medical Teacher*, 26(6), 521–524. <https://doi.org/10.1080/01421590412331285414>
- Georgé, J.-P., Gleizes, M.-P., & Camps, V. (2011). Coopération. In *Natural Computing Series* (Vol. 37). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-17348-6>
- Girault, Y., & Fortin-Debart, C. (2006). *Etat des lieux et des perspectives en matière d'Education Relative à l'Environnement à l'échelle nationale*.
- Girault, Y., & Sauve, L. (2008). *L'éducation scientifique, l'éducation à l'environnement et l'éducation pour le développement durable. Croisements, enjeux et mouvances L'éducation scientifique, l'éducation à l'environnement et l'éducation pour le développement durable*. 7–30.

- Greenwald, K. R., Petit, L. J., & Waite, T. A. (2008). Indirect Effects of a Keystone Herbivore Elevate Local Animal Diversity. *Journal of Wildlife Management*, 72(6), 1318–1321. <https://doi.org/10.2193/2007-491>
- Gregg, E. J., Christensen, V., Nichol, L., Martone, R. G., Markel, R. W., Watson, J. C., Harley, C. D. G., Pakhomov, E. A., Shurin, J. B., & Chan, K. M. A. (2020). Cascading social-ecological costs and benefits triggered by a recovering keystone predator. *Science*, 368(6496), 1243–1247. <https://doi.org/10.1126/science.aay5342>
- Griffiths, A. K., & Grant, B. A. C. (1985). High school students' understanding of food webs: Identification of a learning hierarchy and related misconceptions. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(5), 421–436. <https://doi.org/10.1002/tea.3660220505>
- Grotzer, T. A., & Bell Basca, B. (2003). How does grasping the underlying causal structures of ecosystems impact students' understanding? *Journal of Biological Education*, 38(1), 16–29. <https://doi.org/10.1080/00219266.2003.9655891>
- Gunderson, L. H. (2000). *Ecological resilience in theory and application*. 31(2000), 425–439.
- Guyader, H. Le. (2008). *La biodiversité : un concept flou ou une réalité scientifique ? 2000*, 7–26.
- Hale, S. L., & Koprowski, J. L. (2018). Ecosystem-level effects of keystone species reintroduction: a literature review. *Restoration Ecology*, 26(3), 439–445. <https://doi.org/10.1111/rec.12684>
- Harrache, S. (2019). *Le ludique dans l'enseignement/apprentissage du Français Langue Etrangère au cycle primaire algérien The ludicactivitiesin teaching/learning of French as a foreign language in the Algerian primaryschools Date. 16*, 243–256.
- Hung, C. Y., Sun, J. C. Y., & Liu, J. Y. (2019). Effects of flipped classrooms integrated with MOOCs and game-based learning on the learning motivation and outcomes of students from different backgrounds. *Interactive Learning Environments*, 27(8), 1028–1046. <https://doi.org/10.1080/10494820.2018.1481103>
- Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (2009). An educational psychology success story: Social interdependence theory and cooperative learning. *Educational Researcher*, 38(5), 365–379. <https://doi.org/10.3102/0013189X09339057>
- Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (2015). Cooperation and Competition. In *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences: Second Edition* (Second Edi, Vol. 4). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.24051-8>
- Jong, B. S., Lai, C. H., Hsia, Y. T., Lin, T. W., & Lu, C. Y. (2013). Using game-based cooperative learning to improve learning motivation: A study of online game use in an operating systems course. *IEEE Transactions on Education*, 56(2), 183–190. <https://doi.org/10.1109/TE.2012.2207959>
- Jordán, F. (2009). Keystone species and food webs. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1524), 1733–1741. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0335>
- Kelley, H. H., & Thibaut, J. W. (1978). *Interpersonal Relations: A Theory of Interdependence* (John Wiley).
- Kilinc, A., Yeşiltaş, N. K., Kartal, T., Demiral, Ü., & Eroğlu, B. (2013). School Students'

- Conceptions about Biodiversity Loss: Definitions, Reasons, Results and Solutions. *Research in Science Education*, 43(6), 2277–2307. <https://doi.org/10.1007/s11165-013-9355-0>
- Lamarque, P., Quétier, F., & Lavorel, S. (2011). The diversity of the ecosystem services concept and its implications for their assessment and management. *Comptes Rendus - Biologies*, 334(5–6), 441–449. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2010.11.007>
- Lavallee, C. D. (2018). Trophic Interactions of Gray Wolves (. *Proceedings of Manitoba's Undergraduate Science and Engineering Research*, 4(1), 77–78. <https://doi.org/10.1139/Z11-115.2>.
- Legrand, L., & Langouet, G. (1987). *La Différenciation pédagogique*. 79, 89–91.
- Lontie, M. (2012). Jouer, c'est sérieux Les enjeux des jeux de coopération. *UFAPEC*, 1–10.
- Lubineau, M., Dehaene, S., Potier-watkins, C., Gurgand, M., Pawlik, A., Bévalot, C., & Viltard, N. (2022). *Note du CSEN* — —.
- Lucas, A. M. (1980). The role of science education in education for the environment. *Journal of Environmental Education*, 12(2), 33–37. <https://doi.org/10.1080/00958964.1981.10801898>
- Mace, G. M. (2005). Biodiversity: An index of intactness. *Nature*, 434(7029), 32–33. <https://doi.org/10.1038/434032a>
- Magro, A., Simonneaux, L., & Hemptinne, J. (2003). *L'écologie dans les curricula de l'enseignement agricole français*. January.
- Mashedier, M., Sassoie, A., & Cuvelier, C. (2005). Jeux coopératifs pour bâtir la paix. *Chronique sociale*.
- Mayr, E. (1942). *Systematics And The Origin Of Species* (Columbia U).
- Mazor, T., Doropoulos, C., Schwarzmuller, F., Gladish, D. W., Kumaran, N., Merkel, K., Di Marco, M., & Gagic, V. (2018). Global mismatch of policy and research on drivers of biodiversity loss. *Nature Ecology and Evolution*, 2(7), 1071–1074. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0563-x>
- Mills, L. S., Soulé, M. E., Doak, D. F., & Soule, M. E. (1993). Concept Conservation Ecology and interactions in natural systems. *BioScience*, 43(4), 219–224.
- Moldoveanu, M., Grenier, N., & Steichen, C. (2016). *La différenciation pédagogique : représentations et pratiques rapportées d'enseignantes du primaire Differentiated Instruction : Representations and reported practices of elementary school teachers*. 51.
- Moutsinas, G., Shuaib, C., Guo, W., & Jarvis, S. (2019). *Graph Hierarchy: A novel approach to understanding hierarchical structures in complex networks*. August. <http://arxiv.org/abs/1908.04358>
- Munson, B. H. (1991). *Relationships between an individual's conceptual ecology and the individual's conceptions of ecology*. University of Minnesota.
- Munson, B. H. (1994). Ecological misconceptions. *Journal of Environmental Education*, 25(4), 30–34. <https://doi.org/10.1080/00958964.1994.9941962>
- National Research Council. (2011). Learning science through computer games and

- simulations. In *Studies in Science Education*.
<https://doi.org/10.1080/03057267.2012.720770>
- Nemessany, V. (2019). *La Pédagogie du jeu Comment remettre les apprentissages en jeu ?* December, 78. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29883.98081>
- Nootens, P., Morin, M. F., & Montesinos-Gelet, I. (2012). La différenciation pédagogique du point de vue d'enseignants québécois: Quelles différences pour les pratiques d'enseignement en contexte d'entrée dans l'écrit? *Canadian Journal of Education*, 35(2), 268–284.
- Paine, R. T. (1969). A Note on Trophic Complexity and Community Stability. *The American Naturalist*, 103(929), 91–93. <https://doi.org/10.1086/282586>
- Parlement de la Communauté Française et le gouvernement. (2018). Décret Mission. *Centre De Documentation Administrative*.
- Piaget, J. (1950). *The Psychology of Intelligence* (Harcourt).
- Pullin, A. (2002). Conservation Biology. In *Cambridge: Cambridge University Press*.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781139051927>
- Reverdy, C. (2016). La coopération entre élèves : des recherches aux pratiques. *Institut Français de l'Éducation*, 1–32. <https://doi.org/10.2307/j.ctt9qh7ww.5>
- Ripple, W. J., & Beschta, R. L. (2003). Wolf reintroduction, predation risk, and cottonwood recovery in Yellowstone National Park. *Forest Ecology and Management*, 184(1–3), 299–313. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00154-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00154-3)
- Ripple, W. J., & Beschta, R. L. (2012). Trophic cascades in Yellowstone: The first 15 years after wolf reintroduction. *Biological Conservation*, 145(1), 205–213.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.11.005>
- Ripple, W. J., Estes, J. A., Schmitz, O. J., Constant, V., Kaylor, M. J., Lenz, A., Motley, J. L., Self, K. E., Taylor, D. S., & Wolf, C. (2016). What is a Trophic Cascade? *Trends in Ecology and Evolution*, 31(11), 842–849. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.08.010>
- Sadler, T. D., Romine, W. L., Menon, D., Ferdig, R. E., & Annetta, L. (2015). Learning Biology Through Innovative Curricula: A Comparison of Game- and Nongame-Based Approaches. *Science Education*, 99(4), 696–720. <https://doi.org/10.1002/sce.21171>
- Sauvé, L. (2007). L'éducation relative à l'environnement et la globalisation : enjeux curriculaires et pédagogiques. *Éducation Relative À L'Environnement*, 6(Volume 6).
<https://doi.org/10.4000/ere.3894>
- Sauvé, L. (2009). *éducation relative à l'environnement Vivre ensemble , sur Terre : Enjeux contemporains d'une éducation relative à l'environnement*.
- Su, T., Cheng, M., & Lin, S. (2014). *Investigating the Effectiveness of an Educational Card Game for Learning How Human Immunology Is Regulated*. 13, 504–515.
<https://doi.org/10.1187/cbe.13-10-0197>
- Taylor, D., & Corbett-Etchevers, I. (2021). *Les jeux sérieux numériques et modulaires : un outil d'accompagnement pour développer les soft-skills*.
- Terborgh, J., Feeley, K., Silman, M., Nuñez, P., & Balukjian, B. (2006). Vegetation dynamics of predator-free land-bridge islands. *Journal of Ecology*, 94(2), 253–263.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2006.01106.x>

Üçüncü, G., Karakaya, F., & Yilmaz, M. (2020). An activity for gifted and talented students to learn the concept of keystone species. *Participatory Educational Research*, 7(2), 19–32. <https://doi.org/10.17275/per.20.17.7.2>

UNESCO. (1986). *L'éducation relative à l'environnement : Principes d'enseignement et d'apprentissage*.

Verstraeten, S. (2012). Les Jeux. *Artichouette*, 19, 15–22.

Viau, R., & Bouchard, J. (2000). Validation d'un modèle de dynamique motivationnelle auprès d'élèves du secondaire. *Canadian Journal of Education*, 25(1), 16–26. <https://doi.org/10.2307/1585865>

Vicent B. (2021) Espèces clé de voûte - Définition et exemples. Consulté le 20 avril 2022.

https://www.projetecolo.com/especies-cle-de-voute-definition-et-exemples-435.html#anchor_2

Viviers, H. A., Fouché, J. P., & Reitsma, G. M. (2016). *Developing Soft Skills (also known as pervasive skills)*. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1310-3_6

Weiskopf, S. R., Rubenstein, M. A., Crozier, L. G., Gaichas, S., Griffis, R., Halofsky, J. E., Hyde, K. J. W., Morelli, T. L., Morisette, J. T., Muñoz, R. C., Pershing, A. J., Peterson, D. L., Poudel, R., Staudinger, M. D., Sutton-Grier, A. E., Thompson, L., Vose, J., Weltzin, J. F., & Whyte, K. P. (2020). Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States. *Science of the Total Environment*, 733(xxxx). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137782>

Wittrock, M. C. (1990). Generative Processes of Comprehension. *Educational Psychologist*, 24(4), 345–376. https://doi.org/https://doi.org/10.1207/s15326985ep2404_2

7. Annexes

Annexe 1 : Détails des règles du jeu « Mission Yellowstone ».

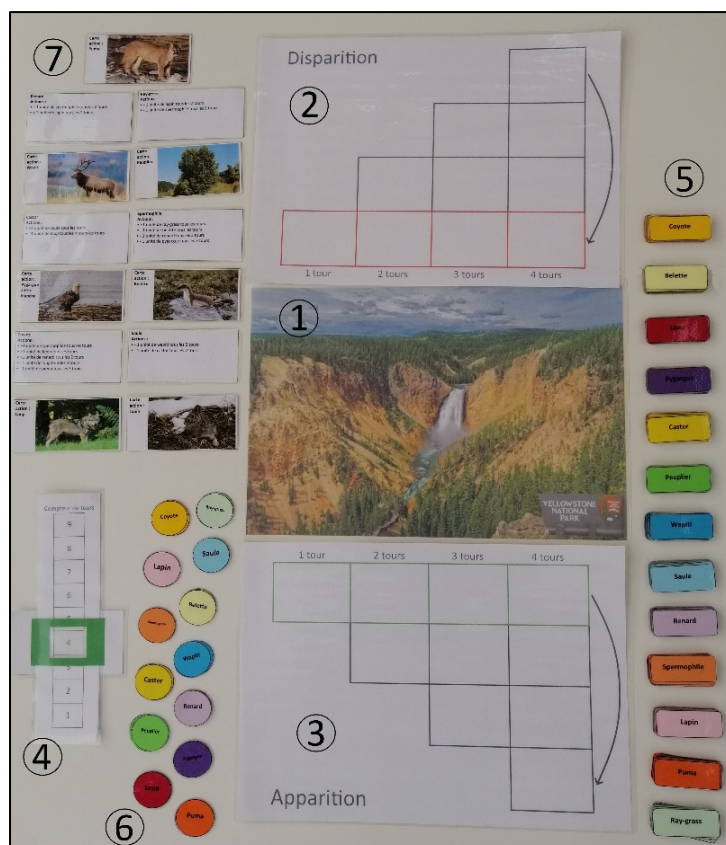
Titre : Mission Yellowstone

Nombre de joueurs : 3 à 5

Temps du jeu : 15 minutes

Matériel :

- Plateau principal « Yellowstone » ①
- Plateau secondaire 1 « Disparition » ②
- Plateau secondaire 2 « Apparition » ③
- Compteur de tour ④
- 12 cartes de chaque espèce (13) ⑤
- 3 jetons de chaque espèce (13) ⑥
- 1 carte action de chaque espèce (13) ⑦



Objectif du jeu :

L'objectif est de garder un écosystème fonctionnel tout en éliminant une à une un maximum d'espèce.

Mise en place :

Avant de démarrer le jeu, il faut placer sur le plateau principal :

- 1 carte « Pygargue »
- 1 carte « Puma »
- 2 cartes « Loup »
- 2 cartes « Coyote »
- 2 cartes « Belette »
- 2 cartes « Renard »
- 2 cartes « Castor »
- 3 cartes « Wapiti »
- 3 cartes « Lapin »
- 3 cartes « Spermophile »
- 3 cartes « Saule »
- 3 cartes « Peuplier »
- 3 cartes « Ray-grass »

→ Chaque carte représente un individu

Il faut également régler le compteur de tours sur 1 ainsi que mettre face cachée toutes les cartes action.

Déroulement de la partie :

1. Un secrétaire est sélectionné en début de partie. Il devra, en plus de jouer, noter dans la grille les choix qui ont été faits à chaque tour ainsi que les espèces qui disparaissent.
2. Le joueur le plus âgé commence la partie.
3. Ce joueur va choisir, seul ou en concertation avec les autres joueurs, une espèce présente sur le plateau.

4. Une fois celle-ci sélectionnée, le joueur enlève du plateau tous les individus de l'espèce. Il va ensuite retourner face visible la carte action correspondant à l'espèce disparue et la placer sur le côté du plateau visible de tous. Celle-ci va rester face visible pour le reste de la partie.
5. Le compteur de tour est alors augmenté de 1 avant que le joueur suivant ne commence son tour.
6. Le joueur suivant dans le sens horloger va exécuter les différentes actions notées sur la carte action dans l'ordre dans lequel elles sont indiquées. Ensuite, il va faire disparaître à son tour une espèce du plateau et retourner la carte action correspondante.
7. Le joueur suivant prend la relève et exécute les étapes 5 à 6.
8. Le jeu se déroule ainsi de suite jusqu'à ce que le temps imparti soit écoulé, c'est-à-dire 15 minutes, ou jusqu'à ce que l'écosystème soit trop perturbé c'est-à-dire lorsqu'il ne reste que 4 espèces différentes sur le plateau principal.

Remarque :

Lorsqu'une espèce a été retirée du jeu par une carte action, il n'est plus possible de lui ajouter des individus par l'effet d'une autre carte action. L'espèce est définitivement perdue de l'écosystème.

Cartes action :

- Les actions sont à réaliser avant le tour du joueur et se font dans l'ordre dans lequel les cartes action ont été retournées.
- Un tour correspond à la phase d'action d'un joueur.
- Lorsque que l'action se passe tous les tours, un jeton de l'espèce correspondante est ajouté dans la colonne « 1 tour » du plateau secondaire correspondant.
- Lorsque la carte précise que l'action se passera dans plusieurs tours, il faut placer le jeton de l'espèce mentionnée dans la colonne correspondant au nombre de tours sur l'un des plateaux secondaires.
- À chaque tour, les jetons vont se déplacer d'une case vers le haut afin de ne pas se tromper dans le nombre de tours restants (Voir Figure 1 à 5).
- Les figures représentent le plateau disparition. Pour le plateau apparition, il faut également démarrer du bas mais aller vers les cases vertes.
- Une fois que les espèces sont arrivées au sommet de la colonne d'un des plateaux secondaires, l'action est effectuée sur le plateau principal et les jetons sont remis en bas de la colonne (Voir flèche sur plateau secondaire) à la prochaine action afin de les faire remonter les tours suivants.

Remarque :

Lorsqu'une espèce disparaît du plateau principal alors qu'un jeton est encore présent sur un des plateaux secondaires, ces jetons sont enlevés de ces plateaux. De plus, lors de la disparition de l'espèce, sa carte action va être également retournée et être exécutée lors du tour du prochain joueur.

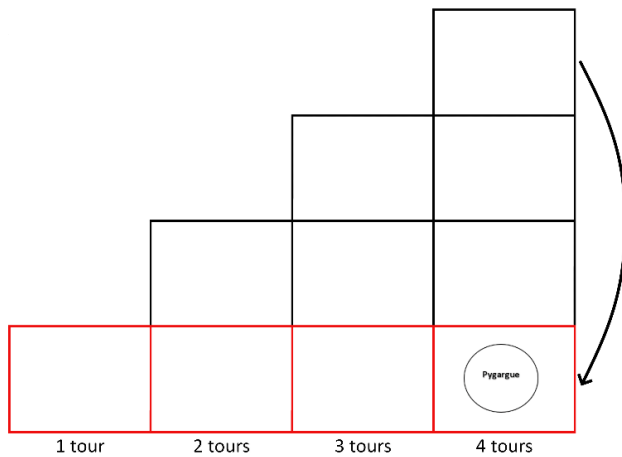


Figure 14. Premier tour d'une carte action impliquant 4 tours

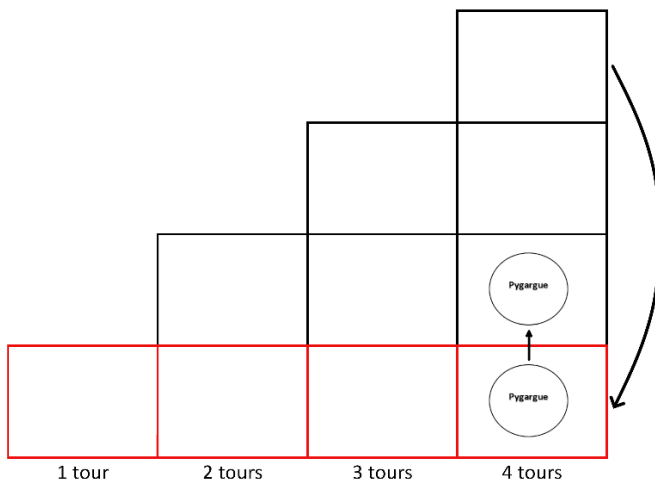


Figure 2. Deuxième tour d'une carte action impliquant 4 tours

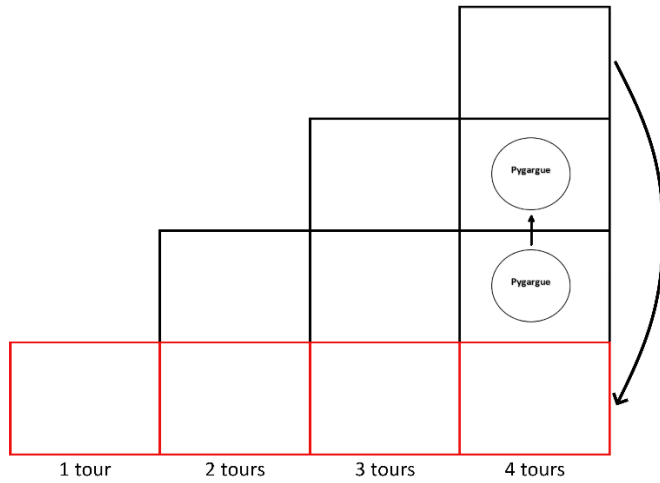


Figure 3. Troisième tour d'une carte action impliquant 4 tours

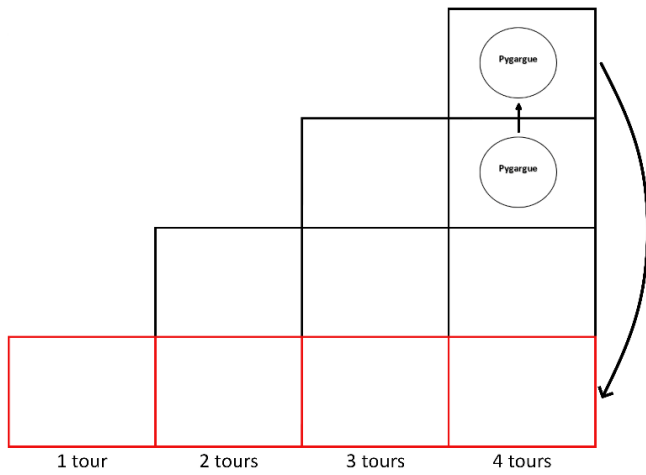


Figure 4. Quatrième tour d'une carte action impliquant 4 tours

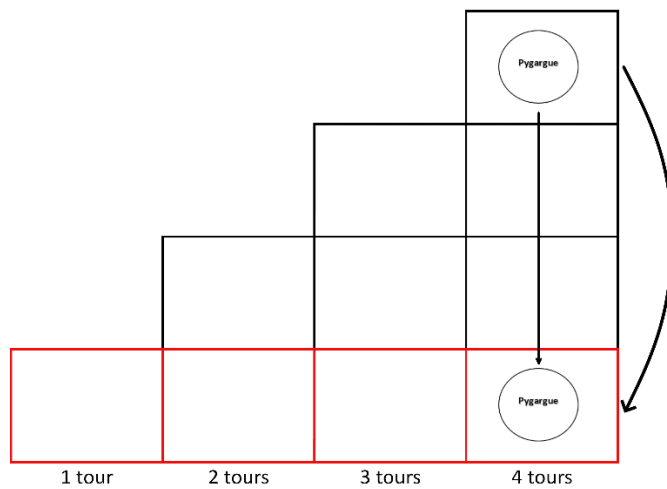


Figure 5. Retour au tour 1 une fois l'espèce enlevée (ajoutée) du plateau

Fiche secrétaire :

Elle est constituée de 3 colonnes.

- La première indique simplement le numéro du tour dans lequel l'action a été exécutée.
- La seconde, nommée « Espèce enlevée », sera remplie tous les tours par l'espèce que les joueurs ont décidés eux-mêmes d'enlever.
- La troisième, nommée « Espèce qui disparaît », ne doit pas être remplie tous les tours mais uniquement lorsqu'une espèce disparaît du plateau principal à cause d'une carte action. Dans ce cas, dans la ligne correspondant au tour de la disparition de l'espèce, il sera noté avant la flèche l'espèce disparue et après l'espèce de la carte action qui l'a fait disparaître.

Annexe 2 : Détails des réponses incorrectes pour les questions « Pré clé de voûte », « Pré cascade » et « Pré lien ».

Question « Pré clé de voûte » :

- Réponse X1 (20/153) : C'est une espèce qui fait le lien entre plusieurs, elle est intermédiaire dans la chaîne trophique.
- Réponse X2 (16/153) : C'est le premier maillon de la chaîne trophique et correspond donc aux végétaux.
- Réponse X3 (6/153) : Ce sont les décomposeurs qui permettent de dégrader les individus morts.
- Réponse X4 (5/153) : C'est le dernier maillon de la chaîne trophique et correspond donc aux super-prédateurs.
- Réponse X5 (5/153) : C'est une espèce qui peut en remplacer une autre si cette dernière disparaît de l'écosystème.
- Réponse X6 (3/153) : C'est une espèce importante qui est en diminution s'il y a un souci dans la chaîne trophique.
- Réponse X7 (3/153) : C'est une espèce qui peut briser la chaîne alimentaire de par son absence.
- Réponse X8 (3/153) : C'est une espèce importante qui mène à la biodiversité.
- Réponse X9 (2/153) : C'est une espèce qui ne peut pas changer de place dans la chaîne alimentaire.
- Réponse X10 (1/153) : « C'est une espèce dont on ne peut se passer, qui est indispensable à notre survie. ».

- Réponse X11 (1/153) : « Peut-être qu'une espèce clé de voûte est une espèce qui a un mauvais impact sur son environnement et qui doit être limitée par ses actions. ».
- Réponse X12 (1/153) : « Espèce qui nourrit plusieurs animaux. ».
- Réponse X13 (1/153) : « Espèce qui permet le maintien de son espèce. ».
- Réponse X14 (1/153) : « Pour moi, ce serait une espèce qui a plusieurs fonctionnalités. ».

« Question « Pré cascade » :

- Réponse X1 (40/153) : La disparition d'une espèce entraîne la chute de l'écosystème.
- Réponse X2 (24/153) : C'est une suite de proies et prédateurs qui s'enchaînent pour former une chaîne trophique.
- Réponse X3 (6/153) : Un changement dans la chaîne alimentaire provoquerait une cascade (le type de cascade n'est pas spécifié par les élèves).
- Réponse X4 (3/153) : La chaîne alimentaire est cyclique avec la mise en avant du rôle des décomposeurs.
- Réponse X5 (3/153) : La chaîne alimentaire est constituée comme une pyramide avec beaucoup d'espèces à la base et peu en haut.
- Réponse X6 (2/153) : Les croisements entre individus amènent au fur et à mesure du temps, de la diversité génétique.
- Réponse X7 (1/153) : « C'est quand un élément d'un écosystème ne fonctionne plus, crée ou à cause d'un acteur extérieur. ».
- Réponse X8 (1/153) : « Peut-être, d'après moi, transfert d'énergie apporté à chaque animal lorsque l'on suit la chaîne trophique. ».
- Réponse X9 (1/153) : « Pure interprétation : lorsque une espèce ne saurait plus assumer son rôle au sein d'un écosystème, cela va entraîner une cascade de conséquences sur la chaîne trophique à toutes les échelles. ».
- Réponse X10 (1/153) : « Ça pourrait être en rapport avec les espèces en voie de disparition. ».

Question « Pré lien » :

- Réponse X1 (12/153) : L'espèce clé de voûte permet de maintenir le concept de cascade trophique dans l'écosystème, c'est-à-dire la suite des espèces dans la chaîne alimentaire.

- Réponse X2 (11/153) : Les espèces clé de voûte permettent de maintenir l'écosystème après que la cascade trophique ait eu lieu.
- Réponse X3 (6/153) : L'espèce clé de voûte représentée par les végétaux disparaît, tout le reste de la chaîne alimentaire va disparaître via une cascade trophique.
- Réponse X4 (3/153) : L'espèce clé de voûte est à la base d'une cascade trophique.
- Réponse X5 (2/153) : L'espèce clé de voûte est représentée par la fin de la cascade trophique c'est-à-dire le super-prédateur.
- Réponse X6 (2/153) : L'espèce clé de voûte est une espèce dont la quantité d'individus est en diminution dans une cascade trophique
- Réponse X7 (1/153) : « Les espèces « clé de voûte » ont plus tendance à se multiplier car beaucoup de nourriture et pas de prédateurs. Si leur nombre devient trop important par rapport aux autres espèces, cela peut engendrer une cascade trophique (conséquences les unes après les autres). Ex : l'homme est une espèce clé de voûte et consomme (chasse) de plus en plus. Les espèces directement tuées par l'homme (ex : thon) diminuent et engendrent une augmentation de leurs proies (ex : petits poissons). ».
- Réponse X8 (1/153) : « A mon avis, si une espèce appartient à plusieurs écosystèmes, la disparition d'une autre aura un plus petit impact sur cette espèce (mais un impact quand même). ».
- Réponse X9 (1/153) : « Je suppose du coup que certaines espèces sont plus importantes que d'autres ? je ne suis pas sûre donc je n'ai pas vraiment d'exemple. ».

Annexe 3 : Détails des réponses incorrectes pour les questions « Espèce », « Post clé de voûte », « Post cascade » et « Post lien ».

Question « Espèce »

- Réponse X1 (15/150) : Le ray-grass.
- Réponse X2 (12/150) : Les végétaux.
- Réponse X3 (10/150) : Le lapin.
- Réponse X4 (10/150) : Le wapiti.
- Réponse X5 (7/150) : Les grands prédateurs.
- Réponse X6 (7/150) : Le spermophile.
- Réponse X7 (4/150) : Le lapin et le spermophile.
- Réponse X8 (2/150) : Le peuplier.

- Réponse X9 (2/150) : Une espèce qui permet de maintenir et de soutenir l'écosystème.
- Réponse X10 (2/150) : Le loup et le lapin/spermophile.
- Réponse X11 (1/150) : « Selon moi, l'espèce est le puma car elle n'a pas eu d'impact sur le reste de la chaîne même si l'espèce avait été enlevée. ».
- Réponse X12 (1/150) : « Pour moi c'est la pygargue mais je ne sais pas justifier pourquoi. ».
- Réponse X13 (1/150) : « pour moi l'espèce « clé de voûte » est la saule, en effet lorsque la saule disparaît, elle décime l'espèce des wapitis et des loups qui entrainera également la chute des pumas. Une partie de l'écosystème sera perturbé. ».
- Réponse X14 (1/150) : « Le renard car c'est une espèce qui peut être remplacé par son prédateurs qui jouera le même rôle que lui. Celui de manger les lapins. ».
- Réponse X15 (1/150) : « Espèce → castor ».
- Réponse X16 (1/150) : « Je dirais, la belette car celle-ci peut très bien être mangé, comme mangé une autre espèce. ».

Question « Post clé de voûte » :

- Réponse X1 (11/150) : Ce sont les prédateurs car ils se retrouvent en haut de la chaîne alimentaire.
- Réponse X2 (10/150) : C'est un élément de la chaîne alimentaire qui se retrouve souvent au milieu de celle-ci afin de pouvoir manger et être mangé.
- Réponse X3 (8/150) : C'est une espèce qui permet le maintien et la régulation d'autres espèces.
- Réponse X4 (3/150) : Ce sont les végétaux car ils se retrouvent en bas de la chaîne alimentaire.
- Réponse X5 (3/150) : C'est une espèce qui peut en remplacer une autre si la première venait à disparaître.
- Réponse X6 (1/150) : « Ça pourrait être une espèce qui réapparaît. Comme quand on l'a enlevé il est revenu. »³

Question « Post cascade » :

- Réponse X1 (57/150) : La disparition d'une espèce engendre l'effondrement de l'écosystème (par exemple s'il n'y a plus de végétaux, les herbivores ne peuvent plus

³ Les règles du jeu n'autorisent pas la réapparition d'une espèce ayant disparue précédemment.

se nourrir provoquant leur disparition et donc les prédateurs ne sauront plus manger d'herbivores, etc.).

- Réponse X2 (13/150) : C'est l'enchaînement des espèces dans une chaîne alimentaire (Végétal → herbivore → carnivore).
- Réponse X3 (5/150) : C'est la disparition de l'espèce clé de voûte qui entraîne le déclin d'autres espèces.
- Réponse X4 (3/150) : C'est un impact qui se répercute d'espèce en espèce directement liées.
- Réponse X5 (1/150) : « Ça représente la descendance d'une chaîne. ».
- Réponse X6 (1/150) : « Cela veut dire que par chaîne alimentaire les espèces peuvent soit augmenter soit diminuer en fonction de plusieurs choses. ».

Question « Post lien » :

- Réponse X1 (15/150) : S'il manque l'espèce clé de voûte dans la cascade trophique (représentée comme une succession d'espèces), alors elle se brisera.
- Réponse X2 (10/150) : Si une espèce disparaît, cela aura un énorme impact sur l'écosystème.
- Réponse X3 (7/150) : L'espèce clé de voûte et la cascade trophique sont utiles au maintien de l'écosystème.
- Réponse X4 (4/150) : L'espèce clé de voûte permet d'empêcher des cascades trophiques parce qu'elle fait le lien entre plusieurs espèces de l'écosystème (maillon intermédiaire).
- Réponse X5 (3/150) : La clé de voûte est la base de la chaîne alimentaire et si elle tombe, alors tout s'effondre.
- Réponse X6 (1/150) : « On place une clé voute pour remplacer le saule (par exemple) pour continuer à avoir une chaîne alimentaire et l'écosystème. ».
- Réponse X7 (1/150) : « Que la « clé de voûte » est le prédateur qui va se nourrit en fonction du nombre de ses proies → la belette va préférer du spermophile plutôt que du lapin si il y a moins de lapin. Pour que l'espèce « cascade trophique » puisse se reproduire un peu. ».
- Réponse X8 (1/150) : « Si la clé de voute augmente toutes les espèces augmentent souvent aussi. ».
- Réponse X9 (1/150) : « Le lien est l'importance d'un élément dans une chaîne alimentaire. Quand on le retire. ».

- Réponse X10 (1/150) : « Une espèce clé de voûte fait disparaître et apparaître ce qui entraîne la cascade trophique. ».
- Réponse X11 (1/150) : « Je pense que le lien entre les 2 est que grâce à la cascade trophique, on sait définir une espèce clé de voûte et inversement. ».

Annexe 4 : Tableau représentant les effectifs d'élèves ayant reçu un indice pour les questions « Espèce », « Post clé de voûte » et « Post cascade ».

	Espèce	Post clé de voûte	Post cascade
Réponse A	11	11	24
Réponse X1		2	1
Réponse X2	2	4	
Réponse X3	2	2	
Réponse X4	2	2	
Réponse X6			1
Réponse X7	2		
Réponse X12	1		
Abstention	1		
Total	21	21	26