

Université Catholique de Louvain
École de Biologie



Université de Namur
Département de Biologie



**Le jeu de société peut-il être un support didactique pour simuler
la dynamique des espèces exotiques envahissantes et permettre
de faire émerger des apprentissages relatifs à cette
problématique ?**

ROBIN Guillaume

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

Promoteur : VERVOORT Arnaud

Travail réalisé sous la supervision de la Cellule Didactique
de Biologie de l'Université de Namur

Année académique 2023-2024

Remerciements

Merci à l'ensemble de ma famille qui m'a permis d'entreprendre une aventure académique palpitante et riche, et à leur patience malgré ce parcours long et chaotique.

À ma compagne, à qui j'adresse tout mon amour, et que je souhaite remercier pour le soutien dans les moments les plus difficiles et où la peur de l'échec était la plus présente.

Je remercie mon promoteur, Arnaud Vervoort, d'avoir accepté de me guider durant ces années et m'avoir permis de réaliser une étude centrée sur une de mes passions. Je tiens également à le remercier pour la patience, les conseils et les relectures qui m'ont permis de réaliser ce mémoire.

Je tiens à remercier tous mes amis qui ont cru en moi sans jamais envisager l'abandon de ce projet.

Je tiens à remercier l'ensemble des professeures qui m'ont accueilli au sein de leur classe et qui réalisent l'un des plus beaux métiers du monde. Sans elles, cette étude n'aurait pas pu être menée à son terme.

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude envers les membres du comité de lecture pour l'intérêt qu'ils portent à mon sujet.

Résumé

Les pratiques didactiques évoluent constamment et doivent s'adapter aux nouvelles générations. Les méthodes ludiques semblent être de bons outils permettant un engagement actif de l'élève dans son apprentissage, devenant joueur-apprenant. Le jeu, afin d'être didactique, se doit de posséder plusieurs caractéristiques inhérentes à ce type de dispositif telles qu'une trame narrative claire ou des mécanismes précis et identifiables par l'apprenant lui permettant de réaliser des tâches signifiantes en lien avec les thèmes étudiés, et ainsi de créer son propre savoir.

Dans ce cadre, nous avons développé un jeu didactique baptisé *Microcosme* centré sur les dynamiques de développement des espèces végétales et confrontant des espèces exotiques envahissantes à des espèces végétales indigènes. Nous avons confronté ce jeu à un test afin de vérifier s'il était capable de faire émerger chez le joueur-apprenant un concept aussi complexe que celui de l'espèce exotique envahissante grâce à son game-design. Les résultats montrent que les joueurs-apprenants identifient bien les espèces exotiques envahissantes jouables.

Cependant, notre étude montre que, lorsque les joueurs-apprenants tentent de les décrire, leur caractéristique envahissante est nettement identifiée, mais pas leur caractéristique envahissante exotique. Cela indique que l'émergence du concept n'est pas complète, notamment en ce qui concerne l'introduction de ces espèces exotiques envahissantes dans un milieu où sont présentes des espèces végétales indigènes.

Pour pallier ce manque, il serait pertinent d'introduire les notions d'indigène et d'exotique en écologie avant de jouer. Malgré ces lacunes, les élèves réalisent des apprentissages significatifs, même si la notion émergente n'est pas entièrement maîtrisée. Intégrer mieux ce jeu dans la trame didactique du thème pédagogique, et ce, peut-être après avoir abordé d'autres causes de la perte de biodiversité pourrait améliorer la compréhension.

En matière de satisfaction, le ressenti général est très positif, les élèves estimant qu'ils réalisent des apprentissages grâce à cette approche ludique. Pour enrichir l'expérience, il serait possible de la rendre plus complexe et de la diviser en deux périodes. Il est cependant à prendre en compte que le manque de temps dans l'enseignement est une contrainte. En conclusion, ce jeu semble être support introductif au thème, soit après avoir abordé la notion d'espèces exotiques, afin de mettre en évidence leur aspect envahissant.

Abstract

Didactic practices are constantly evolving and must adapt across new generations of students. Playful methods seem to be effective tools for encouraging active student engagement in learning, transforming them into learner-players. A game, to be didactic, must possess several characteristics to this type of tool, such as a clear narrative framework or precise and describable mechanisms that allow the learner to perform meaningful tasks related to the studied themes, thus creating their own knowledge.

In this context, we developed a didactic game called *Microcosm*, based on the dynamics of plant species development and the confrontation between invasive exotic plant species and indigenous plant species from Wallonia (Belgium). We subjected this game to a test to verify whether it could help learner-players grasp a complex concept like “invasive exotic species” through its game design. The results show that learner-players can accurately identify the playable invasive exotic species.

However, our study indicates that when learner-players attempt to describe these species, their invasive characteristic is clearly identified, but not their exotic characteristic. This suggests that the concept emergence is incomplete, particularly regarding the introduction of these invasive exotic species into an environment with indigenous plant species.

To address this gap, it would be useful to introduce the notions of indigenous and exotic in ecology before playing. Despite these shortcomings, students make significant learning gains, even if the emerging concept is not fully mastered. Better integrating this game into the didactic framework of the educational theme, perhaps after discussing other causes of biodiversity loss, could enhance understanding.

In terms of satisfaction, the overall feedback is very positive, with students feeling that they learn through this playful approach. To enrich the experience, it could be made more complex and divided into two periods, though it is important to consider the constraint of limited teaching time. In conclusion, this game seems to be a valuable introductory support for the theme, either before or after discussing the notion of exotic species, to highlight their invasive aspect.

Table des matières

Table des matières	II
Table des Acronymes	V
I. Introduction	1
A. Problématique des espèces exotiques envahissantes	2
B. Sensibilisation des plus jeunes et éducation à l'écologie	5
1. La problématique de la perte de biodiversité	5
2. Le phénomène de <i>Plant blindness</i>	6
C. Ludification de l'apprentissage	7
1. Définition de la ludification ou « gamification ».....	7
2. Les caractéristiques du jeu didactique	9
3. Plus-value didactique du jeu	11
4. Le jeu au service de la didactique de la biologie, cas concret.....	13
5. Modélisation didactique par le jeu	13
D. Conceptualisation de l'apprentissage par les sciences cognitives	15
Les quatre grands piliers de l'apprentissage.....	16
E. La recherche en didactique de la biologie liée à la pédagogie	19
F. Question de recherche et hypothèses.....	19
II. Matériel et Méthode.....	21
A. Public cible et écoles participantes.....	21
B. Descriptif du jeu.....	22
1. Différentes versions du jeu et simplifications	22
2. Dispositif ludopédagogique final	23
3. Règles d'une partie	25
4. Déroulement d'une séance en classe	26
C. Tester les apprentissages acquis	26
1. Questionnaires	26
2. Observations de terrain.....	28
D. Analyser les réponses.....	28
1. Protocole d'analyse.....	28
2. Précisions concernant la catégorisation dans les questions	29
III. Résultats	30
A. Taux de complétion des questionnaires	30

B.	Identification des Espèces Exotiques Envahissantes.....	31
1.	Connaissances préalables des espèces jouables.....	31
2.	Détection des espèces exotiques envahissantes.....	31
C.	Conceptualisation des Espèces Exotiques Envahissantes	34
1.	Les espèces avantagées	34
2.	Définition et conceptualisation des EEE jouables par les joueurs -apprenants.....	36
D.	Relations identifiées entre <i>Microcosme</i> et la réalité.....	38
1.	Le plateau de jeu	38
2.	Les cartes espèces.....	39
3.	Perception des joueurs-apprenants relative aux apprentissages réalisés.....	40
E.	Satisfaction des joueurs-apprenants	42
F.	Observations réalisées en classe	44
IV.	Discussion.....	45
A.	Interprétation des résultats.....	45
1.	H ₁ : Détection des espèces exotiques envahissantes	45
2.	H ₂ : Caractérisation des espèces exotiques envahissantes.....	46
3.	H ₃ : Apprentissages réalisés grâce au jeu et à ses mécaniques ?	49
4.	H ₄ : Satisfaction des joueurs-apprenants	52
5.	Interprétations hors hypothèses	53
B.	Limites de l'étude.....	54
1.	Limites identifiées par les observations effectuées lors des tests réalisés dans les classes	54
2.	Limites du dispositif	54
3.	Limites et biais des données recueillies	55
C.	Perspectives.....	56
D.	Phase post-jeu optionnel.....	58
V.	Conclusion	58
VI.	Liste des figures	60
VII.	Liste des tableaux	60
VIII.	Bibliographie	61
IX.	Annexes	71
A.	Plateau de jeu.....	71
B.	Cartes espèces.....	72
C.	Fiche des règles (recto et verso)	74

D.	Questionnaire post-jeu vierge (4 pages).....	76
E.	Description des 40 groupes-jeu	79
F.	Annexe Q4 : Réponses brutes classifiées en catégorie de réponses.....	80
G.	Annexe Q6 : Occurrence des termes employés par les élèves	81
H.	Annexe Q7 : Classement des réponses catégorisées	82
I.	Annexe Q9 : Occurrence des mots employés comme réponse avant mise en catégorie	83
J.	Annexe Q10 : Réponses brutes.....	84
K.	Annexe Q11 : Divergences entre la simulation et la réalité naturelle selon les joueurs-apprenants. 85	
L.	Annexe Q12 : Apprentissages que les joueurs-apprenants estiment avoir réalisés, classement par catégorie	86
M.	Annexe I (Q13).....	87

Table des Acronymes

EEE : Espèces exotiques envahissantes

IPBES : Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques

UAA : Unités d'Acquis d'Apprentissage

URDB : Unité de Recherche en Didactique de la Biologie

I. Introduction

L'enseignement est en perpétuelle évolution et doit se réinventer au quotidien, et ce, aussi bien pour mettre à jour les savoirs à enseigner que les méthodes utilisées pour transmettre ce savoir. Le professeur possède plusieurs casquettes et joue plusieurs rôles. Cela est d'autant plus vrai aujourd'hui, à l'heure où la diversification des méthodes d'apprentissage n'a jamais été aussi grande (Barrère, 2023) et ce, suite à la stratégie menée par le Décret Mission¹ (Communauté française Wallonie-Bruxelles, 2019). Maître du savoir, accompagnateur d'apprentissages et expérimentateur sont autant de postes que doit remplir le professeur moderne (Brousseau, 1988; Pastré, 2002; Alves, 2021). Afin de s'adapter à chaque élève, à chaque situation, le professeur doit tenir compte des difficultés de chacun (Brousseau, 1988). En sciences, les programmes d'apprentissages ont comme objectifs de former les élèves à décoder le savoir scientifique et à être des citoyens responsables, capables de contribuer à la société et à son développement communautaire, tout en aiguisant un esprit critique (Extrait du Code de l'Enseignement, Communauté française Wallonie-Bruxelles, 2019). Dans le cadre des cours de sciences biologiques, l'Unité d'acquis d'apprentissage (UAA) 9 du programme des sciences biologiques générales et UAA 6 des sciences de base prévoit d'initier les élèves aux impacts que l'humain peut avoir sur son environnement. Parmi les sujets abordés dans ces UAA, nous avons décidé de nous focaliser sur la notion d'espèces exotiques envahissantes (EEE) (Wallonie-Bruxelles Enseignement, 2019).

En effet, comment représenter au mieux l'impact de l'homme et des EEE sur leur environnement tout en restant dans un cadre bienveillant qui permettra tout de même aux élèves de bousculer leurs préconceptions éventuelles ? Il s'agit du questionnement de base ayant lancé la réflexion et la création de ce mémoire. La revue de la littérature permettra d'estimer si la simulation par le jeu peut être un bon outil pour pouvoir comprendre les dynamiques entre ces espèces.

¹ Les 4 objectifs de ce décret sont : La promotion de la confiance en soi et le développement de la personne de chacun des élèves (1), Amener tous les élèves à s'approprier des savoirs et à acquérir des compétences qui les rendent aptes à apprendre toute leur vie et à prendre une place active dans la vie économique, sociale et culturelle (2), Préparer tous les élèves à être des citoyens responsables, capables de contribuer au développement d'une société démocratique, solidaire, pluraliste et ouverte aux autres cultures (3) et Assurer à tous les élèves des chances égales d'émancipation sociale (4).

Le jeu est depuis l'enfance une manière pour l'apprenant de simuler son environnement et d'expérimenter (Brougère, 2012). De plus, le jeu commence à se développer au sein des écoles en tant qu'outil didactique (Duquesnoy et al., 2019) et l'intérêt pour la ludification des apprentissages s'est fortement développé au cours de ces dernières décennies (Surendeleg et al., 2014) et ce, que ce soit à travers des simulations virtuelles et jeux vidéo (Kasbi, 2012; Sheldon, 2020), notamment dû à l'expansion des Technologies de l'Information et de la Communication (Janous & Laafou, 2022), ou avec des jeux plus traditionnels, type jeu de plateau (Sablayrolles et al., 2017). En Belgique, une formation officielle en ludopédagogie intitulée « Sciences et Techniques du jeu » a vu le jour en 2013 dans des hautes écoles bruxelloises et du Brabant wallon (Bossé, 2013), traduisant le développement de cette nouvelle approche de l'éducation. C'est dans cette optique que ce mémoire tentera de répondre à la question suivante : Le jeu de société peut-il être un support didactique pour simuler la dynamique des EEE et permettre de faire émerger des apprentissages relatifs à cette problématique ?

Pour tenter de répondre à cette question, nous débuterons par une revue de l'art traitant des différents concepts liés aux EEE, à la ludification des pratiques de l'enseignement et des mécanismes de l'apprentissage, puis nous présenterons notre méthodologie, les résultats obtenus que nous discuterons.

A. Problématique des espèces exotiques envahissantes

Historiquement, Wilcove et al. (1998) listait l'impact des EEE comme la deuxième cause majeure de perte de la biodiversité. Dans son article, il expliquait déjà que l'impact du changement climatique n'avait pas été intégré, mais que celui-ci ferait très certainement partie des causes majeures dans le futur à venir.

Lors de la 7^e plénière de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES), qui a eu lieu en 2019, ces six grandes causes ont été listées et classées selon leur ordre d'importance. Ces facteurs, par ordre décroissant de responsabilité sont : (1) les changements d'usage des terres et de la mer ainsi que la surexploitation directe des animaux, plantes et autres organismes, (2) les changements climatiques qui exacerbent directement l'impact des autres facteurs sur le bien-être humain et la nature dans son ensemble, (3) les différents types de pollution ainsi que la propagation des espèces exotiques envahissantes,

(4) la pression anthropique due à l'augmentation de la population mondiale entraînant une augmentation des échanges commerciaux mondiaux qui sont très demandeurs en énergie et matériaux, (5) les mesures d'incitation économiques qui défavorisent la conservation et la restauration de la biodiversité et (6) la dégradation des espaces naturels gérés par les populations autochtones, ce qui représente un quart de la surface des terres émergées à travers le globe (IPBES, 2019).

Parmi toutes ces causes, nous avons choisi de nous focaliser sur les EEE. Le recensement de ces espèces a augmenté d'environ 70 % en moyenne et par pays depuis 1970, pour les 21 pays ayant fourni des données détaillées (IPBES, 2019).

Au vu de ces chiffres, il n'est guère étonnant de constater que de nombreux scientifiques étudient ces espèces, leur comportement, leur dispersion et leurs interactions avec les espèces indigènes (Saad et al., 2009; Cameron et al., 2016; D'Antonio & Flory, 2017) afin de leur donner une définition claire.

Les espèces exotiques envahissantes, parfois dénommées espèces invasives, désignent des organismes non indigènes introduits dans des écosystèmes où ils ne se trouvent pas naturellement. Ces espèces peuvent avoir des effets néfastes sur la biodiversité, les écosystèmes, l'économie et la santé humaine. Elles se propagent rapidement et rentrent en compétition avec les espèces indigènes pour les ressources, perturbant ainsi l'équilibre écologique (Sheppard et al., 2006; Brown et al., 2018; Delnatte et al., 2021).

De plus, les EEE ne respectent pas les frontières administratives des pays. C'est dans une optique d'une uniformisation des gestions et des stratégies de lutte contre les EEE sur les territoires du continent que l'Union européenne a adopté le Règlement (UE) n 1143/2014 du Parlement européen et du Conseil du 22 octobre 2014 relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes.

La Région wallonne, pour sa part, recense les EEE présentes sur le territoire et fournit quelques fiches détaillées sur des espèces de plantes exotiques envahissantes telles que la renouée du Japon, la berce du Caucase ou la balsamine de l'Himalaya (Portail environnement Wallonie, s. d.). Les plantes exotiques envahissantes peuvent, suivant les espèces, avoir des impacts divers sur leur environnement. Par exemple : une augmentation de la teneur en azote localement, ce qui

peut avoir des conséquences assez fortes sur les populations de plantes indigènes inféodées aux milieux pauvres (Saad et al., 2009). Elles peuvent également avoir des impacts non négligeables sur le comportement des espèces pollinisatrices et la reproduction des plantes indigènes, voire même modifier à terme la composition floristique locale (Saad et al., 2009; Vanparys, 2009) sans oublier l'équilibre de la faune du sol (Vanparys, 2009). Des études étrangères indiquent aussi des risques d'hybridation avec les espèces indigènes (pouvant réduire le succès reproducteur de ces espèces) (Huxel, 1999) induisant des effets sur les populations suite à un mixage génétique (Ellstrand, 2009).

Le risque de voir des espèces exotiques envahissantes concurrencer des espèces indigènes partageant le même type de niche écologique est réel (Santamarina et al., 2023), et est déjà observé en Belgique (Vervoort & Jacquemart, 2012). Il est établi que ces recouvrements de niche peuvent avoir des effets sur les communautés indigènes, pouvant diminuer, à terme, la biodiversité par une homogénéisation provoquée par le remplacement progressif des espèces du paysage (Vanderhoeven et al., 2006; Ellstrand, 2009; Saad et al., 2009; Vanparys, 2009).

Par extension, la perturbation des dynamiques des écosystèmes, engendrée par la modification de ces communautés végétales indigènes, peut avoir des impacts non négligeables sur la santé publique² ou l'économie³ ou en amoindrissant les services écosystémiques rendus par les milieux. (Delbart et al., 2010).

En résumé, les impacts des EEE sur les milieux qu'elles colonisent et la société sont nombreux et variés. De plus en plus d'études centrées sur cette problématique sont publiées (D'Antonio & Flory, 2017) et des méta-analyses étudient les tendances générales de ces impacts (Cameron et al., 2016), car les effets du déplacement et de l'invasion de ces espèces dans nos régions sont un enjeu écologique de taille pour le futur (D'Antonio & Flory, 2017).

² La berce du Caucase, par exemple, contient des substances chimiques dites "photo-sensibilisantes". Soumises aux radiations UV du soleil, ces substances provoquent de sévères brûlures (Portail de la biodiversité Wallonie, s. d.).

³ Les coûts liés aux EEE (gestion et atténuation de leurs dommages), sont estimés à plus de 115 milliards d'euros en Europe entre 1960 et 2020 (Haubrock et al., 2021).

B. Sensibilisation des plus jeunes et éducation à l'écologie

1. La problématique de la perte de biodiversité

Depuis le milieu des années 1980, la communauté scientifique ne cesse d'alerter les pouvoirs publics sur l'état de la biodiversité, et ce, à travers le monde. Cette crise majeure et enjeu primordial du XXI^e siècle est de plus en plus prise en compte et intégrée aux programmes des politiques publiques (Mauz & Granjou, 2010). Afin d'enrayer ou, du moins, de diminuer le déclin biologique que nous traversons aujourd'hui, une intégration et une sensibilisation de la population aux politiques de gestion de l'environnement pourraient être bénéfiques. Si le thème de la biodiversité était auparavant propre au monde scientifique, les médias ont permis une première approche et réappropriation de ce terme par le public, servant dès lors de porte d'entrée à la sensibilisation des problématiques y étant liées (Bougrain-Dubourg, 2012). Ici, les médias ont donc joué un rôle dans une éducation non formelle du public à grande échelle (Clément & Caravita, 2011).

Il n'en reste pas moins que le discours scientifique, et plus précisément son vocabulaire, peut paraître opaque aux non-formés, et ce, malgré la vulgarisation et la diversification des discours scientifiques (Moirand, 2004). Cela pouvant amener à une inexactitude ou une imprécision dans la représentation mentale de toute personne n'étant pas habituée ou peu regardante au champ sémantique employé (Moirand, 2004).

Dans le cadre des espèces exotiques envahissantes, l'emploi de ces deux qualificatifs n'est pas fortuit. En effet, il est nécessaire de différencier une invasion biologique d'une espèce exotique et la prolifération d'une espèce autochtone. Or, il semblerait que le public fasse souvent l'amalgame entre une espèce indigène colonisant fortement un habitat et la dynamique de population d'espèce exotique envahissante, et ce, principalement par la diffusion massive d'information peu précise par les médias de grande influence (Lévêque et al., 2012).

Afin de sensibiliser les jeunes aux problématiques de la biodiversité et de les introduire aux concepts de développement durable, les programmes scolaires ont évolué. En Belgique par exemple, une expérience de science citoyenne⁴ se développe depuis 2016, le XperiBIRD (Institut

⁴ Les sciences citoyennes désignent des modes de production de connaissances scientifiques dans lesquels des acteurs non professionnels de la science participent de manière active et intentionnelle (Houllier & Merilhou-Goudard, 2016).

royal des Sciences naturelles de Belgique, s. d.; XperiBIRD, s. d.). C'est un projet grâce auquel des écoles du primaire et du secondaire ont reçu des nichoirs équipés de caméra permettant ainsi aux classes de suivre la nidification des couples de mésanges. Cette collaboration entre chercheurs et écoles permet aux premiers de collecter massivement des données grâce aux élèves et permet à ces derniers de découvrir la phase de nidification des mésanges. Cependant, il semblerait qu'il existe une certaine forme d'inertie quant à la mise à jour des pratiques d'apprentissage et de pédagogie des professeurs (Eilam & Trop, 2010) . C'est pourquoi dans le cadre de l'évolution des pratiques d'enseignement, nous nous focaliserons sur l'utilisation du jeu comme outil didactique en tant que vecteur de savoir (à travers ses mécaniques) et en tant que simulation de la dynamique des espèces végétales exotiques envahissantes (à travers sa trame narrative).

Dans le cours de biologie dispensé dans les écoles wallonnes, pendant le troisième degré, le programme prévoit que les élèves abordent des concepts liés à la biodiversité, à l'écologie et à la conservation de la nature. Et notamment, il doit conduire à des apprentissages liés à l'impact des espèces exotiques envahissantes sur leur environnement à un niveau local. Cette thématique est nommée : « Les impacts de l'Homme sur les écosystèmes ». Les élèves devraient être amenés à apprendre, entre autres, à : reconnaître ces espèces exotiques envahissantes, comprendre leurs modes de propagation, leurs impacts sur la biodiversité indigène et les mesures de gestion mises en place par les pouvoirs publics pour limiter leur propagation. Ce sujet fait partie de l'Unité d'Acquis d'Apprentissage (UUA) 9 pour le programme des sciences générales (6h) (FESeC, 2017a) et de l'UAA 6 pour le programme des sciences de base (3h) (FESeC, 2017a). La formulation utilisée dans le programme est : « *Décrire à partir d'un exemple, les caractéristiques biologiques d'une espèce invasive (C3)* ». Le programme propose à l'enseignement de réaliser son activité sur base de documents à analyser pour illustrer l'introduction d'une EEE.

2. Le phénomène de *Plant blindness*

Le *plant blindness* est un phénomène observé qui traduit la tendance des individus à négliger les plantes, comparativement à l'attention portée aux animaux, ce qui limite la compréhension de la nature dans son ensemble et entrave la prise de conscience du rôle crucial des plantes dans les écosystèmes, le cycle du carbone et le changement climatique (Wandersee & Schussler, 1999; Jose et al., 2019). Ce phénomène a été souligné comme un problème répandu dans l'éducation et la société ce qui impacterait l'appréciation du public de leur importance dans les

questions environnementales et de conservation (Jose et al., 2019; Thomas et al., 2021). Ce désintérêt, conduisant à une méconnaissance généralisée de la biologie végétale, pourrait affecter non seulement la biodiversité sur le long terme, mais influence également la durabilité et même les pratiques alimentaires et agricoles (Pany & Heidinger, 2014). Ce phénomène semble également être une des causes de politiques de conservation insuffisantes en matière de préservation de la flore sur le continent américain ou encore au Royaume-Uni (Margulies et al., 2019). Bien que ce phénomène ait été observé dans toutes les tranches d'âge, il semble être particulièrement important auprès des apprenants de secondaire supérieur (Amprazis & Papadopoulou, 2023).

C. Ludification de l'apprentissage

Pour répondre à un manque de motivation de la part des apprenants, une approche ludique est de plus en plus utilisée (Montserrat et al., 2017). De plus, il semblerait que le jeu soit un outil didactique puissant pour réaliser des apprentissages, pouvant inciter les participants à réaliser des tâches complexes, résoudre des problèmes (Hoffman & Nadelson, 2009), ce qui peut sembler tout à fait intéressant dans un contexte d'amélioration de la qualité de l'enseignement et de la formation des apprenants à la sortie de leur cursus.

1. Définition de la ludification ou « gamification »

Le terme « gamification » a été utilisé de plus en plus souvent depuis les années 2010, et ce, dans divers domaines par exemple, celui de la santé ou du marketing (Montserrat et al., 2017). De même, le jeu s'est introduit dans les pratiques d'apprentissages et est même étudié par certains comme une nouvelle théorie éducative (Dargère, 2015). La gamification est un anglicisme dont la racine vient de « game » (le jeu) et se définit comme l'appropriation des mécaniques et pratiques courantes dans l'univers des jeux par d'autres domaines variés à la base, non ludiques (de Sousa Borges et al., 2014), et ce, dans le but de stimuler et d'engager de manière active un utilisateur (L'Aperté Digital, 2017).

Les mécaniques traditionnellement associées au monde du jeu qui sont ciblées par la ludification des pratiques sont les règles, les designs et les outils disponibles. L'utilisation de badges, de niveaux, d'objectifs à atteindre ou encore la sollicitation du dépassement personnel par le challenge sont des exemples de mécaniques empruntées au jeu pour les incorporer dans les pratiques pédagogiques modernes (Pertegal-Felices et al., 2020; Krath et al., 2021). C'est le choix

et l'arrangement de ces éléments dans un tout cohérent sous forme d'une activité ludique qui créera ce que l'on nomme un « gameplay ». Ce terme désigne l'ensemble de l'expérience ludique à travers les éléments et mécaniques qui constituent le jeu et qui feront réagir le joueur en suscitant sa réflexion, mais aussi ses émotions (Lawrence, 2004; Doublet, 2015).

Le but principal de la ludification des apprentissages est d'engager un apprenant dans un processus ludique qui le poussera à atteindre des objectifs. Dans le cadre de l'enseignement, ce processus va lui permettre d'acquérir des savoirs et lui apprendre à les utiliser pour atteindre un but fixé : le but du jeu (Gagnon & Karsenti, 2016). Cependant, l'objectif de ce processus, au-delà de gagner la partie, est également de fournir un outil de compréhension sur lequel l'utilisateur pourra, au cours de son expérience, se baser afin de se développer lui-même et *in fine* d'apprendre (Shaftel et al., 2005; Sauvé et al., 2007), le tout, en réduisant le stress lié à la perception du processus d'apprentissage (Khadraoui & Messaour, 2021).

Un des grands principes du jeu didactique est que les règles qui encadrent le joueur sont évolutives et que ce dernier puisse obtenir un feedback quant aux différentes actions qu'il a entreprises durant l'activité (Crawford, 1999; L'Aparté Digital, 2017), et ce, entre autres grâce au résultat obtenu en fin de partie ou par échange avec les autres participants (Krath et al., 2021). Le jeu est aussi sensé provoquer un engagement volontaire de la part de l'utilisateur, ici, l'apprenant, et lui donner l'envie de continuer l'aventure ludique qu'on lui propose (Lawrence, 2004; Sauvé et al., 2007; Karsenti & Bugmann, 2018) .

Cependant, un des défis majeurs de la gamification est d'éviter d'infantiliser l'utilisateur, ce qui pourrait être contre-productif (L'Aparté Digital, 2017; Macfarlane & Tomlinson, 2017). En effet, toute la subtilité de la ludification des pratiques, et ce, quelles qu'elles soient, est d'arriver à trouver un équilibre entre l'accompagnement de l'utilisateur et de lui donner les responsabilités de ces choix tout en gardant à l'esprit qu'il faut atteindre un but « sérieux » (Krath et al., 2021). Ce but étant bien évidemment d'acquérir des savoirs et compétences (FESeC, 2017b) en lien avec le sujet du jeu dans notre étude. Ces savoirs et compétences étant liés aux EEE, le contrat didactique sera rempli si le dispositif ludique, par exemple, permet d'apprendre à reconnaître une espèce exotique envahissante, ou bien de pouvoir décrire leur capacité d'envahissement au détriment des espèces indigènes.

2. Les caractéristiques du jeu didactique

Les jeux peuvent stimuler l'intérêt des participants (McGonigal, 2011). Cependant pour qu'un jeu soit stimulant, il faut que ses caractéristiques puissent faire écho aux caractéristiques individuelles des joueurs (leur style d'apprentissage), et donc dans notre cas, des apprenants. (Gagnon & Karsenti, 2016). Ce lien est donc la base sur laquelle se définit le style de jeu et, à son tour, le style de jeu sera fondamental pour créer une affinité entre les joueurs et les informations que le dispositif ludique est censé transmettre (Gagnon & Karsenti, 2016).

Cependant, pour qu'un dispositif d'apprentissage fonctionne et puisse transmettre des savoirs, il faut qu'il fasse appel à divers éléments et que ces éléments correspondent aux enjeux de l'apprentissage propre à la matière qui est censée être mise à disposition des joueurs-apprenants. Selon Richard Gagnon (2012), un dispositif ludique utilisé en situation d'apprentissage doit posséder plusieurs caractéristiques que les utilisateurs peuvent facilement comprendre et mesurer. Ainsi nous pouvons retrouver :

- Un but du jeu. Celui-ci doit marquer la fin de la partie et doit se mesurer comme un défi aux yeux de l'utilisateur-apprenant, suffisamment complexe et difficile pour être relevé, tout en évitant que le joueur puisse se sentir incapable d'affronter ce but. L'apprenant doit donc être capable de réussir le « but » du jeu avec les moyens dont il dispose (Gagnon & Karsenti, 2016) et sera prêt à intensifier son effort s'il se sent capable de réussir un objectif difficile (Higgins, 2006). De plus, ce but peut parfois augmenter la motivation des participants (McGonigal, 2011) tout en leur permettant de s'auto-évaluer s'ils l'atteignent ou pas (Hoffman & Nadelson, 2009). Enfin, il est à préciser que selon Rolland Viau, la motivation de l'élève, ici également joueur, va être grandement influencée par sa perception de la valeur de l'activité ainsi que ses compétences estimées et la contrôlabilité des tâches à réaliser pour atteindre l'objectif (le but du jeu). Cette motivation cadrée par ce qu'aura perçu l'élève résultera par l'engagement ou non de celui-ci dans l'activité ludopédagogique (Houssaye, 1995; Viau & Bouchard, 2000).
- Des récompenses directement liées aux modalités de réussite du jeu. En effet, gratifier l'étudiant d'une récompense après avoir atteint le but du jeu peut non seulement le motiver à suivre cet objectif, mais également lui fournir un sentiment d'accomplissement fort. Cette récompense peut prendre différentes formes : des points lui permettant d'évaluer son niveau

d'excellence à l'accomplissement de la tâche, ou bien une réelle récompense telle qu'un privilège. Le simple fait d'être sacré gagnant peut être une forme d'objectif en soi. Le souci dans le cadre de notre projet de jeu ; nous le présenterons dans les chapitres suivants, est que par sa nature de « jeu de plateau », être le/la meilleur·e signifie qu'un·e autre sera donc perdant. La tâche ici est donc de susciter l'attention et la volonté de gagner la partie et de faire de son mieux et non de mettre en exergue la victoire sur un ou une camarade (Gagnon & Karsenti, 2016).

- Des règles qui doivent encadrer le joueur dans la continuité de la partie. Ainsi, ces règles doivent être capables de définir les limites du champ d'autonomie du joueur ; ce qu'il peut ou ne peut pas faire lors de son tour, de sa phase d'action ! Ces règles doivent donc décrire les actions et les ressources que l'apprenant a à sa disposition (Gagnon & Karsenti, 2016). Il s'agit donc en quelque sorte du squelette sur lequel va se reposer la dynamique du jeu.
- Des relations entre joueurs bien identifiées dans le cadre d'une partie. Ces relations peuvent être de plusieurs types : compétition, collaboration ou encore dépassement de soi. Bien entendu, il n'est pas impossible de retrouver plusieurs types de relation dans un jeu, surtout quand le nombre de joueurs augmente. Cette composante de socialisation semble être très importante dans le maintien et la conduite du jeu, et ce, quel que soit le résultat final (gain ou perte de la partie), à travers l'engagement des participants (Hoffman & Nadelson, 2009). De plus, des interactions importantes entre les élèves facilitent les apprentissages (Woo & Reeves, 2007) : il s'agit de la base du socioconstructivisme.
- Une trame narrative qui permet de comprendre la fiction du jeu (Gagnon & Karsenti, 2016). Cet aspect du jeu doit permettre de définir le sujet général du jeu, le déroulement chronologique ainsi que ce à quoi le joueur doit faire semblant de croire (Gagnon & Karsenti, 2016). Ce dernier point fait appel à la notion de suspension consentie d'incrédulité et dans notre cas de la feintise ludique partagée, notion conceptualisée par Jean-Marie Schaeffer (Fontaine, 2016). Cette notion de feintise est une simulation intentionnelle de la réalité, ici, ludique. L'aspect ludique de cette simulation permet de représenter le monde, d'interagir avec lui et *in fine* d'en partager l'expérience (Schaeffer, 1999). Enfin cette trame narrative, et la représentation que le joueur s'en fait, est souvent à l'origine du nom du jeu.

- Des informations utiles et pertinentes pour le ou les joueur·s. Par exemple, le temps de jeu, la position des autres joueurs, leur identification ainsi que des informations qui permettent d'assurer le bon déroulement de la partie telles que les consignes ou encore des signalements d'erreur (Gagnon & Karsenti, 2016).

Enfin, Richard Gagnon & Karsenti (2016) nous expliquent que c'est la combinaison de ces éléments qui produit l'équilibre du jeu, et ce, seulement si cette combinaison permet au joueur de comprendre et d'adhérer à l'esprit même du jeu. Cela permet d'inciter le participant à atteindre le but de l'activité ludique et donc, dans le cas d'un jeu didactique, d'être confronté à des problèmes, de les résoudre et possiblement d'acquérir des savoirs.

3. Plus-value didactique du jeu

Le jeu utilisé comme outil d'apprentissage peut être bénéfique face aux techniques d'enseignement plus conventionnelles en termes de rétention de l'information et engage les joueurs-apprenants dans des processus cognitifs plus efficaces (Wouters et al., 2013). De plus, par son mécanisme d'essais-erreurs, le jeu développe la capacité des participants à résoudre des problèmes (McGonigal, 2011), de tester ses savoirs et stratégies (E. Sanchez & Plumettaz-Sieber, 2019; Djelil & Sanchez, 2023). Plus particulièrement, il est intéressant de souligner que l'utilisation du jeu comme outil didactique permet aux participants de développer de nouvelles capacités cognitives et opérationnelles en ce qui concerne un sujet spécifique (le thème que le jeu aborde) (Al-Azawi et al., 2016), et ce, grâce à la créativité que la résolution de problème nécessite ; mais surtout, grâce à la diversification des situations proposées ou des possibilités de résolutions (Al-Azawi et al., 2016; Sardone & Devlin-Scherer, 2016). Aussi, l'utilisation du jeu en tant qu'outil didactique et pédagogique permet d'augmenter l'engagement et la motivation des apprenants dans l'activité proposée (Anastasiadis et al., 2018).

Enfin, les jeux de société semblent trouver un bon équilibre entre les objectifs d'apprentissages visés, la diversification des méthodes d'apprentissage et le fait d'être des activités favorisant la créativité et la concentration des membres d'une classe (Al-Azawi et al., 2016; Sardone & Devlin-Scherer, 2016). Le contrepied d'une telle intégration dans les pratiques plus traditionnelles est bien entendu, le temps et l'énergie que doivent fournir les professeurs afin de pouvoir réfléchir à la manière la plus efficace d'implémenter les scénarios pédagogiques dans les

jeux (Domínguez et al., 2013) afin d'obtenir un gain de motivation réel de la part des apprenants ainsi qu'avoir le matériel et l'espace requis (Egenfeldt-Nielsen, 2006).

Les premières études traitant du jeu comme outil didactique ne sont pas récentes (Brassier & Ralet, 2021) et comparent généralement le jeu comme méthode d'apprentissage avec des méthodes dites plus traditionnelles telles que la transmission de savoirs dispensée par un professeur avec de la recherche d'informations dans la littérature ou visionnage de films/documentaires et la simulation par des exercices de mise en situation (Fennessey et al., 1974; Brassier & Ralet, 2021).

Des études montrent un impact positif significatif sur les gains de connaissances (Al-Azawi et al., 2016 ; Miralles et al., 2013) et sur les actions de sensibilisation (Skukan et al., 2020). Par exemple, une activité ludique en extérieur a été testée dans un lycée dans les Asturies, en Espagne, et dont le but était d'apprendre aux jeunes à reconnaître des algues envahissantes et à les encourager à s'engager dans la science citoyenne. L'étude semble montrer un impact positif de la ludification sur l'apprentissage (Skukan et al., 2020), mais aussi de la satisfaction des participants à la sortie de l'activité, ce qui est en contraste avec les méthodes d'enseignement plus traditionnelles qui sont parfois perçues comme ennuyeuses (Surendeleg et al., 2014). L'étude de Domínguez et al. (2013) tend même à montrer que des étudiants ayant suivi une expérience d'apprentissage ludifiée (mais ici virtuelle) ont obtenu de meilleurs scores à leur note globale et travaux pratiques.

Dans le cadre des sciences biologiques et physiques, l'utilisation d'outils ludiques centrés sur la simulation semble montrer des résultats positifs quant à l'intérêt didactique (Rutten et al., 2012). Une méta-analyse suggère même que ces résultats sont encore plus marquants dans l'enseignement des sciences biologiques que physiques (Riopel et al., 2019). Une autre étude a en outre révélé que des élèves ayant suivi un cours de biologie avec la simulation informatique ou jeux obtenaient de meilleurs résultats en test et que les élèves ayant suivi la méthode conventionnelle (Bilesanmi-Awoderu, 2006).

Enfin, l'adoption de pratiques ludiques dans l'enseignement pourrait faciliter l'inclusion des élèves ayant de faibles résultats scolaires et augmenter la motivation générale de la classe de par la nature moins formelle de ces activités (Faddegon, 2005). Ces pratiques encouragent les élèves à tester de nouvelles choses tout en n'ayant pas peur de l'échec (Al-Azawi et al., 2016). Or, le bien-être global des apprenants au sein de leur classe, favorisé par la mise en place de ces

méthodes d'enseignement alternatives, influe directement sur leur comportement et l'efficacité de leur formation (Faddegon, 2005).

4. Le jeu au service de la didactique de la biologie, cas concret

Des jeux ont déjà été utilisés avec succès pour enseigner des sujets en lien avec la médecine, la chimie, le changement climatique ou avec l'évolution (Bayir, 2014; Cardozo et al., 2016; Luchi et al., 2019; Muell et al., 2020). Des exemples de jeux directement liés à la biologie et, plus précisément à l'écologie, existent. C'est notamment le cas d'un jeu : « *End of the World Begins in Kurtna* » dont l'objectif est d'aider les apprenants à réaliser des apprentissages sur le concept complexe des services écosystémiques (Morel et al., 2022) . Morel conclut son étude en expliquant que ce jeu améliore la compréhension des participants sur la relation entre les humains et la nature, qu'il fait percevoir aux joueurs l'impact des activités humaines sur leur environnement, le tout dans un processus d'apprentissage engageant, ce qui augmente la motivation par rapport à un cours plus traditionnel. Ce résultat soutenant l'idée que le jeu est un outil éducatif adapté pour enrichir l'apprentissage relatif aux sciences naturelles et qu'il est un bon matériel pour soutenir l'enseignement.

Cependant l'étude nuance ses propos par le fait que les joueurs ont eu du mal à synthétiser précisément le concept de service écosystémique après le jeu et que les joueurs ont évalué l'impact du jeu sur l'état de leur connaissance comme modéré, et ce, malgré l'engagement et la motivation des participants. Morel et al. précise qu'une seule session de jeu ne permet pas de clarifier le concept des services écosystémiques et que bien que le jeu fasse en sorte que les joueurs se sentent plus intelligents, les résultats sont insuffisants pour confirmer la capacité de ce jeu à fournir une compréhension complète des services écosystémiques. Cependant, jouer *End of the World Begins in Kurtna* aide à clarifier le concept et à améliorer la compréhension de l'impact humain.

5. Modélisation didactique par le jeu

Au moment où est rédigé ce mémoire, il existe relativement peu de jeu traitant de la thématique des EEE : un jeu de plateau avec des questions-réponses (« Découvrez les espèces exotiques envahissantes à travers un jeu », 2024), un jeu de plateau décrivant plusieurs cas d'EEE et les actions publiques locales qui sont entreprises pour lutter contre (*L'œil Graphique - Les Espèces Exotiques Envahissantes*, s. d.), des quiz (SPW, 2024), ainsi que diverses activités

ludiques à destination des plus jeunes (*Alien Detectives / Scottish Invasive Species Initiative*, s. d.). Ces jeux prennent diverses formes et semblent adopter une approche dont le modèle d'apprentissage est principalement basé sur une didactique transmissive où les joueurs apprennent des savoirs de manière relativement directe. La plus-value ludique étant, dans ces cas, de pouvoir confronter ses connaissances au jeu.

Les modèles en sciences jouent un rôle fondamental dans l'enseignement des disciplines scientifiques (É. Sanchez, 2008; Valk et al., 2007), guidant les apprenants dans leur démarche d'apprentissage et facilitant la compréhension de phénomènes complexes (Reuter et al., 2013). Ils permettent de simplifier la réalité tout en offrant un cadre structuré pour l'exploration scientifique dans un contexte éducatif (Puren, 2022) afin de comprendre et entrevoir la réalité. À cet égard, le jeu pourrait être un support idéal, car il correspond à la définition de « modèle » évoqué par Puren . En effet, nous avons évoqué précédemment que les caractéristiques du jeu didactique étaient de laisser les apprenants expérimenter dans un contexte contrôlé. Il semblerait cependant que plusieurs études soulignent les difficultés des enseignants à mettre en œuvre des modèles scientifiques permettant l'apprentissage selon une perspective (socio)constructiviste, où les élèves sont engagés eux-mêmes dans la construction de leurs nouvelles conceptions (Van Driel & Verloop, 2002; Justi & Gilbert, 2003), et ce, également dans l'enseignement de la biologie (Krell & Krüger, 2016) malgré un usage courant de la modélisation théorique dans cette branche des sciences (Rumelhard, 1988; Morge & Doly, 2013).

Dans le cadre de cette observation, un jeu didactique traitant des EEE doit permettre de proposer un modèle suffisamment simplifié de la réalité afin que le savoir à transmettre puisse être suffisamment digeste et compréhensible par le public ciblé tout en atteignant les objectifs pédagogiques visés. Dans cette optique, ce jeu doit permettre de réaliser des apprentissages en s'appuyant sur ses caractéristiques intrinsèques afin de solliciter les mécanismes de cognition des apprenants afin de les stimuler et faciliter leur apprentissage.

D. Conceptualisation de l'apprentissage par les sciences cognitives

L'intérêt d'utiliser le jeu comme support d'apprentissage ou vecteur de savoir et d'expérience repose sur ses caractéristiques propres. Le jeu, de par sa nature d'outil demandant une participation active des joueurs, fait appel à des ressources cognitives différentes de celle de l'attitude passive (comme simple récepteur du savoir) habituellement requise lors de la transmission de connaissances, lors des cours magistraux (Ferreira, 2014), qui composent une part importante, mais non exclusive, de l'enseignement traditionnel. Il est donc intéressant de se pencher sur l'apprentissage à travers un prisme étudiant, la cognition et les mécanismes de construction du savoir afin de vérifier si le jeu et ses attributs pourraient activer ces derniers.

L'apprentissage est une action que le cerveau peut réaliser via des mécanismes particuliers que les sciences cognitives tentent de comprendre et de conceptualiser (Rocheleau, 2009). L'intérêt tout particulier de ces sciences pour un enseignant est donc de pouvoir identifier les mécanismes impliqués dans l'acquisition de savoirs ainsi que dans leur compréhension, interprétation et réutilisation de ses savoirs afin, à terme, de pouvoir en développer des compétences (Dehaene, 2012). Ainsi, nous pouvons considérer que l'un des rôles de l'enseignant est d'être un testeur voire un expérimentateur dans sa démarche de développement de cours afin de trouver quelles vont être les techniques à même de permettre aux apprenants de comprendre, s'approprier et réutiliser des savoirs (Rocheleau, 2009).

L'expérimentation par le jeu pourrait, faire appel à la curiosité, favoriser l'attention ou encore mettre à disposition de l'apprenant une récompense s'il réussit correctement une tâche via l'accomplissement d'objectifs ludiques (Privas-Bréauté, 2017). C'est ce que soutient une méta-analyse réalisée en 2013 qui démontre une efficacité des dispositifs ludiques d'apprentissages en termes d'apprentissage et de rétention de l'information, cette efficacité serait même supérieure à l'enseignement dit « traditionnel » (Wouters et al., 2013). Nous pouvons donc penser que le rôle de l'enseignant ici est d'expérimenter ses techniques d'enseignement, par le jeu notamment, afin de mobiliser/activer ces mécanismes de l'apprentissage afin de provoquer une réponse positive quant à l'éveil de l'intérêt d'un élève pour une matière, un savoir, une compétence et donc de faciliter la transmission et l'acquisition de ces derniers.

Les quatre grands piliers de l'apprentissage

Les sciences cognitives ont identifié quatre facteurs importants qui modulent la vitesse et la facilité d'apprentissage :

a) *L'attention*

L'attention qui peut être directement influencée par l'enseignant, mais qui dépend également du passif expérimentatoire de l'apprenant. En sciences cognitives, l'attention est définie comme étant le mécanisme servant à sélectionner une information et à en orienter le traitement (Dehaene, 2012). Le psychologue Michel Posner (1991) décrit trois systèmes attentionnels (Posner & Rothbart, 1991) :

1. Le système attentionnel d'alerte ou de vigilance qui définit quand il faut faire attention à une information. Les jeux et plus particulièrement les jeux vidéo seraient un moyen efficace de stimuler cette forme d'attention (Achtman et al., 2008).
2. Le système d'orientation spatiale de l'attention qui déterminerait ce à quoi l'apprenant voue son attention. Une hiérarchisation des informations en fonction de leur pertinence est mise en place de manière plus ou moins intentionnelle et permet d'allouer plus de ressources à un signal en particulier ce qui amplifie ce signal en question, mais réduit drastiquement la quantité d'informations perçues et traitées sur un autre canal jugé « moins pertinent » (Simons & Chabris, 1999) (Simons & Jensen, 2009). L'attention sélective doit être bien prise en compte lors d'un scénario d'apprentissage, surtout si l'enseignant multiplie les supports de cours. Bien entendu au sein d'une classe l'enseignant doit aussi savoir encadrer les stimulations « parasites » qui pourraient diminuer l'attention spatiale que l'apprenant dévoue à l'information qui doit être transmise au cours lui-même. C'est pourquoi cette notion d'orientation spatiale de l'attention doit être connue par le professeur. L'attention d'orientation peut être comparée à un goulot d'étranglement qui va sélectionner une tâche à accomplir à la fois (Simons & Chabris, 1999). Or, lors d'un jeu, plusieurs tâches peuvent être amenées à s'exécuter simultanément diminuant encore une fois la capacité de concentration : l'une des tâches deviendra centrale par rapport aux autres.
3. Le système attentionnel exécutif détermine comment les informations recueillies sont traitées (sélection d'une chaîne de traitement et résolution de conflits entre tâches). Cela se traduit par une planification et une supervision des comportements d'apprentissage de

l'apprenant et permet, via la création de stratégies d'apprentissage, une flexibilité cognitive. Derrière cette définition quelque peu barbare se trouvent : le maintien d'un but, la sélection des actions et opérations pertinentes pour atteindre le but fixé, la perception et la correction d'erreurs éloignant le but ou encore, le cas échéant, d'une réorientation de la stratégie d'apprentissage si les résultats ne sont pas en adéquation avec l'attente de l'apprenant. Le contrôle exécutif de l'apprenant est un processus qui s'acquiert au cours de la vie et des expérimentations qu'a vécues le jeune, et ce, de manière relativement lente. Il semblerait que les activités ludiques soient un moteur important et particulièrement intéressant dans le développement du contrôle exécutif (Courtier, 2019). Selon Daphnée Bavelier (2018), les jeux vidéo, plus particulièrement d'action, entraînent la prise de décision ultrarapide. La vitesse de jeu peut donc être également un facteur non négligeable de l'attention exécutive de l'apprenant dans le cadre de pratiques ludiques de l'apprentissage (Bavelier et al., 2018).

b) L'apprentissage actif

L'apprentissage actif, dont l'un des principaux moteurs est la capacité de l'apprenant à s'autoévaluer, fait référence à l'engagement de la part de la personne qui souhaite acquérir des connaissances, des savoirs ou des compétences. Un apprentissage sera optimal si les phases de transmission de l'information sont entrecoupées de phase de tests afin d'évaluer si les savoirs sont retenus et compris (Roediger & Karpicke, 2006). En cela, le jeu peut jouer le rôle de test également. En effet, à travers une mise en situation ou une simulation, l'élève peut confronter les savoirs qu'il a construits et les mettre en confrontation avec la simulation ludique lui permet de s'autoévaluer. D'un point de vue métacognitif, cette action d'auto-évaluation permet à l'élève d'apprendre « *à savoir quand il ne sait pas* » (Karpicke & Roediger, 2008). En effet, cette notion d'(auto)évaluation est très importante dans le sens où l'apprenant s'engage dans une volonté d'évaluer ses compétences. Nous pourrions donc également dire qu'un apprentissage uniquement passif (où la transmission de savoirs est unilatérale) est bien moins performant qu'un apprentissage volontaire et actif (Dehaene, 2012).

c) Le retour sur l'information

Comme dit précédemment, se tester a pour but d'obtenir un retour sur l'information via des commentaires ou un jugement de valeur (Roediger & Karpicke, 2006). Cette notion de retour fait directement appel à la capacité de l'apprenant à faire des prédictions (quelle réponse est la plus

adaptée, la plus correcte) et à les comparer aux résultats obtenus. C'est en réalité le signal d'erreur montrant qu'une prédiction n'était pas parfaite qui va déclencher le processus d'apprentissage. Il n'y a pas d'apprentissage si tout est parfaitement prévisible (Dehaene, 2012). Le signal d'erreur est, dans le cadre pédagogique, à la charge du professeur par une correction explicite ou de l'explication de « pourquoi la réponse n'est pas correcte ». Faire des erreurs et être incertain sont deux étapes indispensables dans le processus d'apprentissage et ne doivent en aucun cas être mises en relation avec un sentiment de punition qui fera, lui : monter la peur, le stress et le sentiment d'impuissance (Dehaene, 2012). Il est donc plus intéressant de privilégier la motivation positive ou la récompense. En effet, la motivation positive, passant par la surprise, déclenche directement le processus d'apprentissage puisque le décalage entre nos prédictions et la réalité nous pousse à réajuster notre modèle mental émettant ces prédictions afin de s'améliorer (Dehaene, 2012).

La récompense, elle, en complément, va souligner le fait qu'un apprentissage est bien acquis, et va donc favoriser l'ancrage de ce savoir ou cette compétence (Salopek, 1999). Dans le contexte du jeu, cette récompense pourrait être représentée par le fait de gagner la partie ou plus précisément d'atteindre un objectif voire d'optimiser sa stratégie.

d) La consolidation des apprentissages

La consolidation des apprentissages qui se traduit par une automatisation du savoir-faire (transfert de la compétence ou des savoirs du conscient au non-conscient) permet ainsi une libération partielle de la réflexion. Nous pourrions évoquer le principe d'institutionnalisation du savoir, où la connaissance de l'élève est reconnue par l'institution en fin de séance, amenant celui-ci à reconnaître lui-même son savoir (Garenaux, 2013). C'est lors du débriefing, postérieurement à la phase de jeu, que l'élève reconnaît l'intention d'enseigner et lui permet de cristalliser le savoir acquis (Delory-Momberger, 2006; Plumettaz-Sieber, 2024). En résumé, la session de jeu propose une activité cognitive (attention, perception, expérimentation) tandis que le débriefing doit proposer une activité métacognitive permettant à l'apprenant d'analyser ses nouvelles connaissances (Noel, 1997).

E. La recherche en didactique de la biologie liée à la pédagogie

« *L'homme des sciences de l'éducation existe – t – il ?* » (Daoust, 1989)

Ce mémoire étant centré sur la didactique de la biologie, il nous est paru pertinent de discuter de la place de la pédagogie dans cette étude. Van Der Maren dans son ouvrage « *Méthodes de recherches pour l'éducation* » soutient l'idée que le propre de la recherche scientifique est de démontrer par l'expérience qu'une hypothèse est vraie. Or, dans le contexte de l'éducation, et plus particulièrement par ses caractéristiques sociales, les variables mesurables sont relativement limitées en comparaison de tous les facteurs pouvant influencer une réponse. En résulte un écart entre la méthodologie scientifique stricte et la mise en place d'une théorie applicable dans le quotidien pédagogique (Van Der Maren, 1996). Un autre point que soutient Van Der Maren est que l'objectif des sciences pédagogiques ne se focalise pas sur les bons sujets, et bien que la pédagogie ne soit pas le sujet principal de ce mémoire, il est utile de garder en mémoire que le jeu au-delà des avantages didactiques que ce dernier semble avoir, possède également un impact pédagogique fort, ne serait-ce que par le maintien de la motivation des élèves (McGonigal, 2011; Domínguez et al., 2013; Monterrat et al., 2017). En effet, ce sont les élèves qui sont au cœur des recherches et non les enseignants : nous mesurons donc les résultats des étudiants d'un point de vue didactique, mais aussi l'impact pédagogique du jeu sur les pratiques de l'enseignement.

F. Question de recherche et hypothèses

Cette introduction cristallise les difficultés inhérentes à la transmission de savoirs, les « savoirs savants » en « savoirs enseignés ». Ainsi, ce mémoire propose d'étudier un cas concret de transposition didactique par un « savoir à enseigner » présenté sous la forme d'un jeu. Un jeu de plateau dont les mécaniques ont été développées par Stéphanie Bonnet, étudiante, dans le cadre de son examen de didactique de la biologie, mais adapté dans sa forme, matérialisé et affiné dans sa dynamique et son équilibrage par le mémorant. Ce jeu nommé *Microcosme* simule la dynamique de développement de plusieurs espèces végétales en opposant des espèces exotiques envahissantes à des espèces indigènes. Le modèle écologique proposé simplifie la réalité en ne simulant que les interactions interspécifiques des espèces jouables (3 EEE et 5 indigènes maximum) ; cette simulation ludique ayant subi plusieurs phases de simplification modélisatrice afin de pouvoir prendre en compte les conditions réelles et actuelles de l'enseignement secondaire supérieur

wallon. L'évolution du matériel et des mécaniques de jeux seront présentées dans la partie II Matériel et Méthode.

La volonté du mémorant à explorer l'univers des jeux didactiques provient de son engouement pour les pratiques alternatives d'enseignement, plus actives, plus ludiques, plus créatrices où l'élève est le premier acteur de son apprentissage et a la possibilité de concevoir ses propres définitions de concepts écologiques complexes en les identifiant et les explorant.

La question de recherche formulée par ce mémoire est : « Le jeu de société peut-il être un support didactique pour simuler la dynamique des EEE et permettre de faire émerger des apprentissages relatifs à cette problématique ? »

Le mémorant pose 4 hypothèses découlant de cette question de recherche et auxquelles nous allons tenter de confronter les résultats :

H₁ : Les joueurs-apprenants différencient les espèces exotiques envahissantes des espèces indigènes représentées dans *Microcosme* ;

H₂ : Le jeu est capable de faire émerger le concept écologique « d'espèces exotiques envahissantes » auprès des joueurs-apprenants au moyen de termes sémantiquement équivalents ;

H₃ : Les joueurs-apprenants sont capables d'identifier la relation entre les mécaniques du jeu *Microcosme* et la réalité biologique et écologique qu'ils représentent ;

H₄ : *Microcosme* apporte de la satisfaction aux joueurs-apprenants dans leur apprentissage.

II. Matériel et Méthode

A. Public cible et écoles participantes

La problématique des espèces exotiques envahissantes étant un sujet abordé dans le cadre du cours de biologie dans le troisième degré des humanités, les tests ont été réalisés dans 14 classes différentes du troisième degré réparties dans 9 écoles différentes :

- Athénée Royal de Namur
- Collège Notre-Dame de Basse-Wavre
- Institut de la Providence de Gosselies (GPH)
- Institut du Sacré Cœur de Nivelles
- Institut Sainte-Anne de Gosselies
- Institut Sainte-Marie de Couvin
- Institut Saint-Joseph de Ciney
- Institut Saint-Joseph de Libramont
- Séminaire de Floreffe

Le sujet des EEE étant identique pour les programmes du 3^e cycle en science de base (3h) et sciences générales (6h), nous ne considérerons pas de différences entre les classes puisque le sujet n'a comme seul prérequis que l'écologie de base vue en 1^{er} cycle (UAA2 : Réseau trophique) (FESeC, 2017b) et que les élèves de 5^e et de 6^e avaient les connaissances nécessaires pour participer à l'expérience. La matière propre aux espèces exotiques envahissantes n'avait pas encore été abordée en classe avant de tester le dispositif. Il s'agissait non seulement d'une condition préalable à l'étude, mais les professeurs accueillants ont confirmé ne pas avoir encore débuté cette matière. Venir tester le dispositif était d'ailleurs une bonne manière d'introduire le sujet selon ces derniers.

L'ensemble de ces classes représente un pool total de 200 élèves considérés indépendamment de leur classe dans les résultats généraux.

B. Descriptif du jeu

« *Microcosme* » est un dispositif largement inspiré du jeu « Catane » ainsi que de « SmallWorld ». Ces deux jeux, reconnus comme particulièrement stimulants, partagent des mécaniques communes sur lesquelles *Microcosme* a été développé : compétition, expansion territoriale, traits et avantages propres à chaque espèce, croissance de la population, etc.

Le principe de base de *Microcosme* est relativement simple. Chaque joueur-apprenant incarne, le temps d'une partie, une espèce de plante dont le but est de coloniser un maximum de cases tout au long des différents tours de jeu ; les cases représentant sommairement des biotopes observables dans un écosystème rural tempéré d'Europe occidentale. L'objectif est de simuler la dynamique de développement des espèces jouées en fonction de leurs caractéristiques et de leur phénologie. La particularité du dispositif est que les espèces végétales sont en réalité composées de deux groupes distincts : des espèces indigènes de Wallonie et des espèces classées « exotiques envahissantes » par la Région wallonne⁵ et présentes au sein du territoire. Les espèces jouées ont des « pouvoirs », basés sur leur biologie et cycle de développement qui leur confèrent des avantages en termes de colonisation ou de production végétative.

L'objectif du dispositif est de rendre compte que les espèces exotiques envahissantes, comme l'indique leur nom, envahissent certaines niches laissées libres suite à l'anthropisation du milieu et concurrencent, voire remplacent des espèces indigènes au fur et à mesure que les tours de jeu s'enchainent. Puisque l'une des composantes étudiées est la capacité de *Microcosme* à faire émerger le concept d'EEE, les élèves ne sont pas prévenus que les espèces jouables sont classées en deux catégories : EEE et espèces indigènes.

1. Différentes versions du jeu et simplifications

Le dispositif « *Microcosme* » a été développé et testé deux fois au sein de URDB, mais aussi plusieurs fois en dehors du cadre de l'Université afin de s'assurer de l'équilibre. En effet, l'objectif étant de modéliser la dynamique d'envahissement des espèces exotiques sélectionnées, nous avons dû nous assurer que celui-ci était toujours atteint, et ce, quelle que soit la conformation de base en termes de nombre de participants ou d'espèces jouées. De plus, l'activité devait être réalisée sur une période définie, limitée par les contraintes d'horaire scolaire (50 minutes), tout en

⁵ <http://biodiversite.wallonie.be/servlet/Repository/?ID=35762>

laissant aux joueurs-apprenants le temps nécessaire pour remplir le questionnaire post-jeu permettant de recueillir les données.

Ainsi, plusieurs versions de *Microcosme* se sont succédé et certains éléments des mécaniques du jeu ont été supprimés :

- Le nombre d'espèces jouables a été diminué, passant de 14 (7 EEE, 7 indigènes) à 8 (3 EEE, 5 indigènes)
- Les cartes actions supposées être tirées au début de chaque tour et modélisant des actions de l'homme (campagne de suppression d'EEE, pulvérisation des champs, plantation des jardins, etc.)
- Une boussole de dissémination supposée modéliser les vecteurs de transports des graines et individus (vent, animaux, humains)

2. Dispositif ludopédagogique final

Le dispositif final de *Microcosme* est constitué de plusieurs éléments pour une boîte de jeu :

- **Un plateau de jeu format A3 plastifié et constitué de 6 types de cases (biotopes)**



- Cases Berge
- Cases Forêt
- Cases Lisière
- Cases Prairie
- Cases Route
- Cases Village

Figure 1 : Plateau de jeu et cases correspondantes

Les cases ont été agencées afin de réaliser un plateau agréable visuellement, où la place des tuiles paraît crédible et cohérente (Figure 1, annexe A). La dénomination des cases est présente en face verso de la fiche des règles (annexe C).

- **Des cartes « espèces » colorées au nombre de 8 et plastifiées (annexe B)**

Les cartes espèces sont constituées de deux faces : une face recto blanche composée du nom de l'espèce, du nombre de pions avec lequel commence le joueur, d'une image de l'espèce, des pouvoirs de l'espèce (basées sur leurs caractéristiques biologiques), ainsi que du mois de floraison, permettant d'indiquer l'ordre des joueurs et d'une face verso colorée et sur laquelle est inscrit un court descriptif de l'espèce (Figure 2).

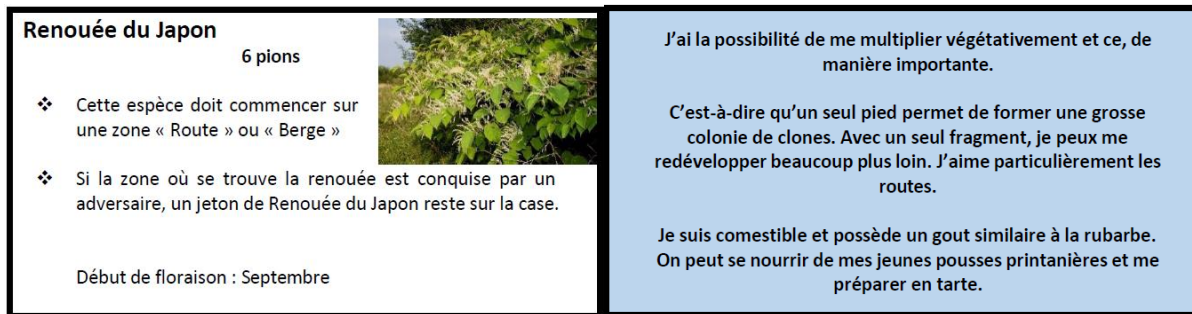


Figure 2 : À gauche : face recto de la carte espèce "Renouée du Japon" ; à droite : sa face verso coloré

La face recto reste visible durant toute la partie. La face colorée est utilisée lors de la sélection des espèces par les joueurs. L'ensemble des cartes espèces jouables se trouvent en annexe.

- **Des jetons de couleur en bois correspondant aux espèces**

Les jetons sont présents dans les boîtes de jeu et correspondent à la couleur face au verso de la carte (Figure 2 ; Figure 3). Ces jetons sont présents en nombre suffisant dans chaque boîte de jeu (environ une centaine par couleur et par boîte).



Figure 3 : Jetons de Microcosme

3. Règles d'une partie

Les règles de *Microcosme* sont expliquées aux joueurs-apprenants par une vidéo afin de minimiser au maximum les différences d'interprétation de la part des participants tout en illustrant une partie de jeu. Cette vidéo est accessible via le QR code présent en marge.



Les règles du jeu sont :

- Les joueurs disposent de 5 tours de jeu à respecter en 30 minutes afin de coloniser le maximum de cases.
- Chaque espèce possède des pouvoirs pouvant améliorer leur capacité de colonisation.
- Un tour de jeu se divise en deux phases (Dissémination et Dormance) :

1) Phase de dissémination :

Tout en respectant son ordre de passage imposé par la période de floraison des cartes espèces, chaque joueur colonise les cases. Pour coloniser une zone, il faut au moins deux jetons. Si d'autres pions sont déjà présents, il faudra en mettre un pion en plus que le nombre de pions déjà présents.

2) Phase de dormance :

Tous les joueurs reprennent leurs jetons, sauf un qui reste sur les espaces colonisés.

- Lorsque tous les joueurs ont effectué leurs actions et repris leurs pions en main, chaque joueur compte le nombre de cases sur lesquelles son espèce est présente. Chaque case occupée correspond à 1 point.
- Chaque joueur prend, dans sa réserve, autant de pions que de zones sur lesquelles son espèce est présente. Certaines espèces possèdent des avantages précisés sur leur carte espèce, leur accordant plus de pions entre chaque tour.
- Au bout des 5 tours de jeu (ou des 30 minutes), le total des points est effectué.

En plus de la vidéo explicative, des fiches de règles sont présentes dans les boîtes de jeu (Annexe C).

4. Déroulement d'une séance en classe

Une période de cours représente 50 minutes. L'organisation de la séance a été pensée pour être contenue dans une seule période de cours. L'activité se découpe en 3 grandes parties :

1. L'accueil des élèves, répartition en groupe-jeu de 4 à 6 joueurs et l'explication des règles (5 minutes)
2. La phase de jeu (30 minutes ou 5 tours de jeu)
3. Test des apprentissages acquis par le remplissage du questionnaire (15 minutes), distribué en fin de période. Les joueurs-apprenants avaient préalablement été mis au courant qu'un test post-jeu serait à remplir.

Éventuellement, certains professeurs ont accepté qu'un débriefing puisse se réaliser après la récupération des questionnaires. Cette partie ne fait pas partie du sujet du présent mémoire et n'influe en rien sur les données récoltées avant ce débriefing.

C. Tester les apprentissages acquis

Un questionnaire est soumis aux apprenants après qu'ils ont eu terminé leur partie. Celui-ci a pour premier objectif de mesurer l'efficacité du jeu en tant qu'outil d'apprentissage. En posant des questions sur les concepts clés abordés dans le jeu (espèces exotiques envahissantes, caractéristiques de ces espèces, etc.), il nous aidera à déterminer si les apprenants ont retenu les informations importantes et si le jeu a donc bel et bien atteint ses objectifs didactiques en répondant favorablement aux 4 hypothèses formulées en I.F.

1. Questionnaires

Après avoir testé le dispositif d'apprentissage « *Microcosme* », les joueurs-apprenants sont invités à répondre à un questionnaire composé de 15 questions les interrogeant sur l'expérience ludique qu'ils viennent de réaliser. L'ensemble des questionnaires complétés sont numérisés et disponibles sur un drive via le lien QR code ci-contre ; les questionnaires vierges sont présents en annexe D.



Le questionnaire est anonymisé et les joueurs-apprenants sont désignés au moins d'un code composé de 3 lettres et deux chiffres afin de faire le lien entre les différentes pages du questionnaire tout en anonymisant les réponses.

Les 15 questions sont ordonnées de manière à faciliter la construction progressive du raisonnement, visant à faire émerger le concept « d'espèce exotique envahissante ». Les dix premières questions, qui se concentrent principalement sur l'écologie des espèces exotiques envahissantes. Les cinq dernières questions sont centrées sur leur ressenti sur l'utilisation de dispositif ludique dans le cadre scolaire.

Un exemple de questionnaire vierge est présent en annexe D, nous vous invitons à comparer cette annexe avec la description de la méthodologie de conception ci-dessous.

Nous employons le terme de « Qx » pour désigner une question en particulier. Ainsi, la première notée Q1, ne demandant que le nom de l'espèce jouée ne sera pas analysée en tant que telle dans le cadre de cette étude. Elle permet de s'assurer qu'au moins une EEE était bien présente dans chaque groupe jeu.

Les Q2 et Q3 sont des questions demandant peu de réflexion par le joueur, mais permettant que celui-ci puisse nous indiquer s'il connaissait déjà des EEE (Q2) ainsi que son ressenti à chaud de l'expérience ludique qu'il vient de tester. La Q3 est présentée sous forme d'échelle de Likert.

Les Q4, Q5 et Q6 ont pour but de comprendre si l'analyse de l'élève parvient à identifier que des EEE sont présentes, s'il parvient à les nommer ou catégoriser comme telles et que celles-ci arrivent généralement dans une zone géographique par les routes ou les rivières.

Les Q7 à Q10 sont des questions focalisées sur les caractéristiques des espèces jouables et de leur capacité d'envahissement. Ainsi, l'objectif de ces questions permet de comprendre comment le joueur-apprenant interprète les « pouvoirs » des espèces et s'il estime que certaines ont plus de chance de proliférer au déficit des autres espèces. De plus, ces questions se focalisent sur les espèces les plus compétitrices afin de voir si le joueur-apprenant identifie les caractéristiques communes de ces espèces, à savoir « exotique » et « envahissante ». Il est à noter que la Q8, présentée sous forme d'échelle de Likert, est présentée volontairement sans échelon central afin d'éviter une réponse « neutre » sans prise de position du joueur-apprenant.

Les Q11 à 14 sont centrées sur la perception du dispositif de jeu, de sa fidélité à représenter la réalité, de sa capacité à transmettre des savoirs et de le percevoir ; mais aussi de l'utilisation d'outils Ludo pédagogique au sein de l'école et de l'apprentissage.

La Q15 présentée aux joueurs-apprenants dans un deuxième temps, leur demande une fois encore de nommer les catégories d'espèces jouées en précisant qu'il n'y a en réalité que deux types d'espèces modélisées dans le jeu.

2. Observations de terrain

Lors des séances réalisées dans les classes, diverses observations relatives au comportement des joueurs ont été répertoriées. De plus, un bref entretien avec le professeur accueillant avant ou après la séance a été réalisé dans le but de débriefer la séance, mais aussi de pouvoir interroger celui-ci sur son point de vue sur les pratiques, son expérience relative au jeu dans le cadre de son travail. Cet échange ne suit pas un questionnaire directif.

D. Analyser les réponses

1. Protocole d'analyse

Afin de pouvoir utiliser les informations recueillies, nous avons réalisé un codage permettant de regrouper les réponses des joueurs-apprenants par concepts. Ce codage a été validé par Monsieur Arnaud Vervoort, promoteur de ce mémoire. Le questionnaire étant constitué d'un grand nombre de questions ouvertes (11), les réponses des joueurs-apprenants sont encodées dans un tableau Excel, sous forme de mot-clef en fonction du concept auquel les apprenants font référence. Par exemple, dans le cadre de notre étude, les mots « lumière » et « humidité » peuvent être intégrés dans le groupe statistique des « variables abiotiques ». Les catégories formées sont cependant définies à posteriori.

Les questions non répondues ne seront pas analysées. Les résultats des compilations seront présentés sous forme de graphiques « barres » réalisés à l'aide d'Excel. À posteriori, nous réaliserons des tests d'indépendance afin d'estimer si certains paramètres peuvent avoir influencé les réponses, comme l'espèce jouée ou encore l'influence de la réponse à une question sur une autre.

2. Précisions concernant la catégorisation dans les questions

Dans le cas de la Q4, nous avons considéré que la catégorie de réponses « Facteurs abiotiques » se distingue de « Lien espèce-habitat » par le fait que les joueurs précisent que les cases représentent les besoins des espèces. La catégorie « Lien espèce-habitat » ne précise pas quels sont ces liens, si ce n'est le fait que les espèces sont adaptées à leur milieu.

Concernant les 3 catégories de réponses de la Q7 :

- « *Avantage de colonisation* » : cette catégorie ne reprend que les élèves ayant précisé que les pouvoirs traduisaient l'avantage de certaines espèces à coloniser de nouvelles zones. Ce type de réponse ne précisant pas si cet avantage était lié à la biologie de l'espèce, davantage en lien avec l'habitat dans lequel l'espèce s'établit ou même s'il s'agissait d'un avantage purement ludique pour diversifier la dynamique du jeu. Sans ces précisions, ces réponses ont été groupées dans une catégorie propre.
- « *Exigence environnementale* » : catégorie regroupant les réponses précisant que les espèces ont des exigences limitant leur développement dans certaines zones. Cette catégorie est proche de « *Avantage de colonisation* », mais ne se concentre que sur l'aspect exigence de l'espèce.
- « *Dans un but ludique* » : cette catégorie de réponse ne fait aucun lien avec la réalité. Cette catégorie ne reprend que des arguments en lien avec l'aspect ludique du jeu.

III. Résultats

A. Taux de complétion des questionnaires

Le questionnaire est composé de 15 questions. Nous pouvons observer (Figure 4) que le taux de participation chute sous les 70% dès la onzième question et sous les 40% pour les questions Q14 et Q15.

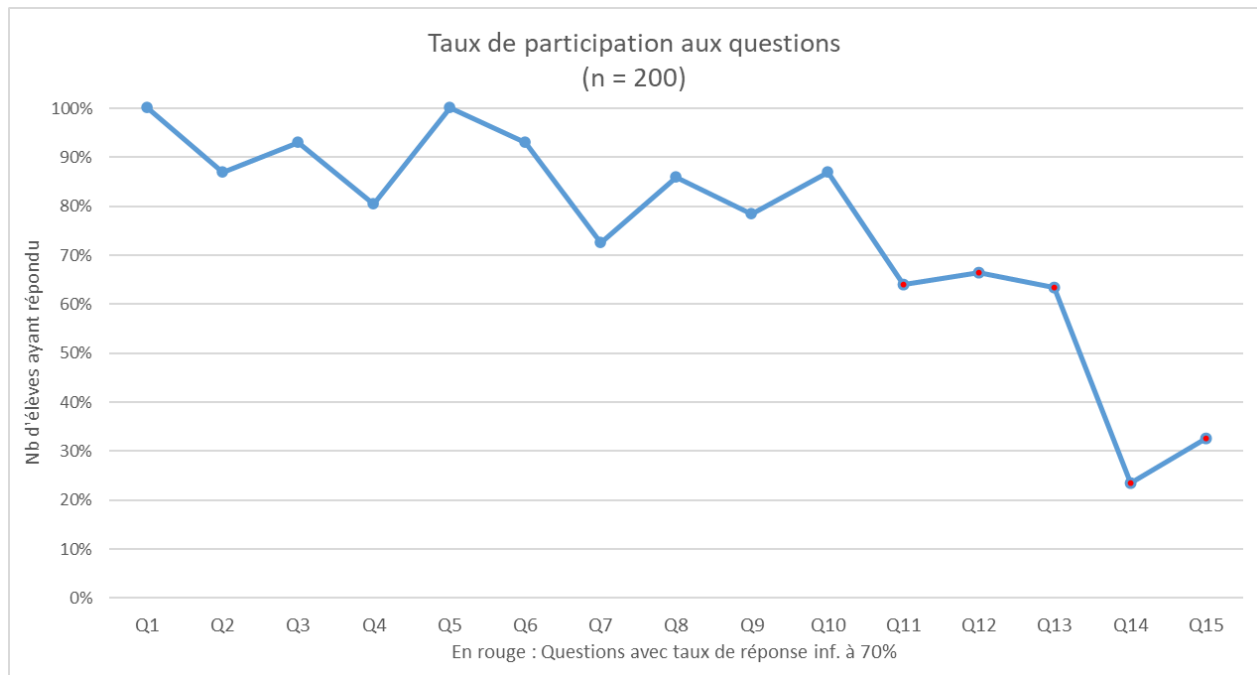


Figure 4 : Évolution du taux de participation des élèves aux différentes questions présentes dans le questionnaire (pour un total de 200 participants)

B. Identification des Espèces Exotiques Envahissantes

1. Connaissances préalables des espèces jouables

Quatre-vingt-sept pour cent des participants ont mentionné au moins une espèce à la question : « *Connaissez-vous certaines de ces espèces avant d'avoir joué au jeu ?* ».

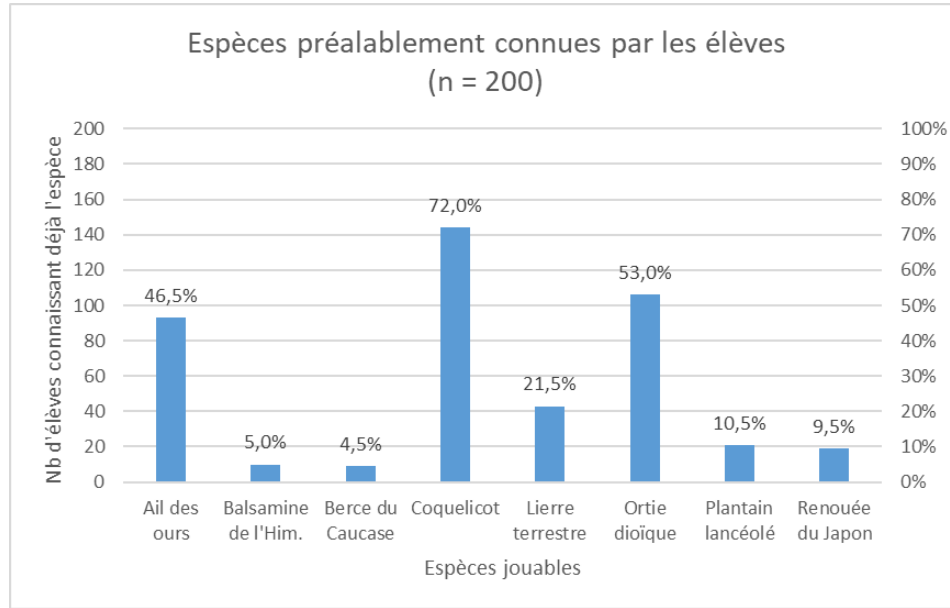


Figure 5 : Connaissance préalable des espèces jouables par les joueurs-apprenants

Cent quarante-quatre joueurs-apprenants (72 %) connaissaient déjà le coquelicot, il s'agit de l'espèce la plus mentionnée, vient ensuite l'ortie (53 %) et l'ail des ours mentionné avec un taux légèrement inférieur à 50 %.

De toutes les espèces exotiques envahissantes, la renouée du Japon est l'espèce la plus citée. Un peu moins de 10 % des joueurs indiquent connaître cette espèce. Nous pouvons également remarquer que les autres EEE sont les espèces dont les élèves ont le moins de connaissance préalable.

2. Détection des espèces exotiques envahissantes

Cent-quatre joueurs (52 %) ont estimé que le jeu représentait trois classes d'espèces, 50 joueurs (25 %) ont estimé qu'il y avait en réalité deux catégories d'espèces jouables et 26 (13 %) joueurs statuent sur quatre catégories. Respectivement, 2 % et 8 % des questionnaires indiquent

que des élèves ont estimé qu'il n'y avait pas de différence catégorielle entre les espèces ou, au contraire, que toutes ces espèces étaient différentes.

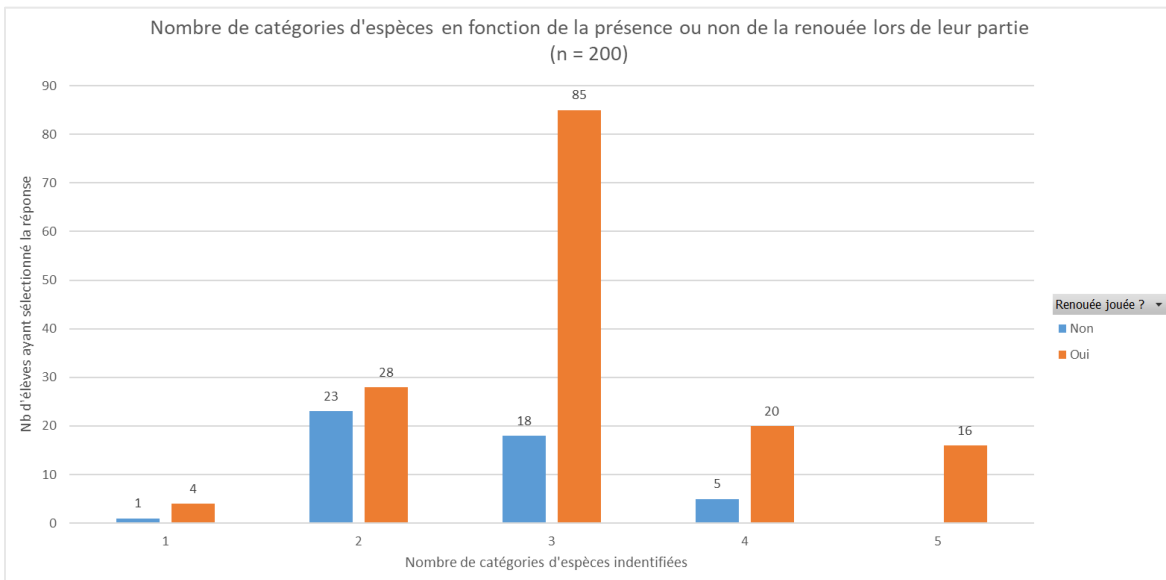


Figure 6 : Répartition des réponses de la Q5 en fonction de la présence ou non de la renouée du Japon lors de la partie jouée

La majorité des élèves ayant été confrontés lors de leur partie à la renouée du Japon ont estimé qu'il y avait « 3 catégories d'espèces » (Figure 6). Cette répartition de réponses est différente en fonction de la présence ou non de chacune des EEE jouables (Figure 8 ; Figure 7).

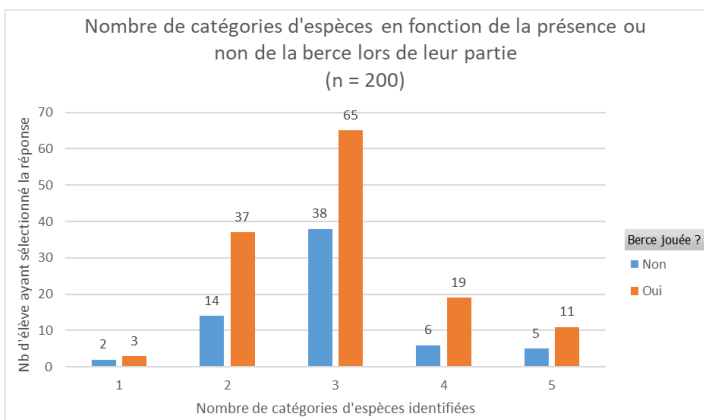


Figure 8 : Répartition des réponses de la Q5 en fonction de la présence ou non de la berce du Caucase lors de la partie jouée

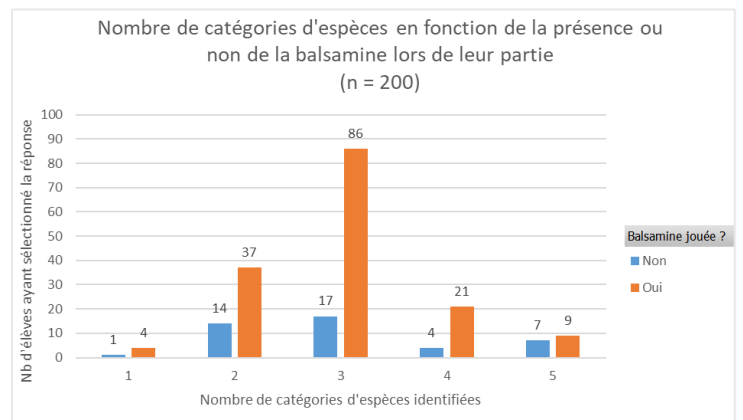


Figure 7 : Répartition des réponses de la Q5 en fonction de la présence ou non de la balsamine de l'Himalaya lors de la partie jouée

A posteriori, un test d'indépendance Khi² (χ^2) a été réalisé en répartissant les réponses formulées à la Q5 fournies par les joueurs-apprenants en fonction de la présence ou non, lors de leur partie, de chacune des EEE jouables, permettant ainsi d'estimer leur impact sur la distribution des réponses. Les p-valeurs obtenues sont présentées dans le tableau 1. Nous obtenons une p-valeur = 0,000410267 dans le cas de la présence de la renouée, indiquant que celle-ci à un effet sur la distribution des réponses (Figure 6), et non dans le cas des deux autres EEE (Tableau 1).

Tableau 1 : Résultats au test KHI2 pour chacune des EEE jouables en fonction de la distribution des réponses formulées par les joueurs-apprenants à la Q5

Présence ou non d'une des EEE jouables	P-Valeur obtenu par Khi ² (χ^2)	Significatif ?
Renouée du Japon	0,000410267	Oui
Berce du Caucase	0,651491074	Non
Balsamine de l'Himalaya	0,101545829	Non

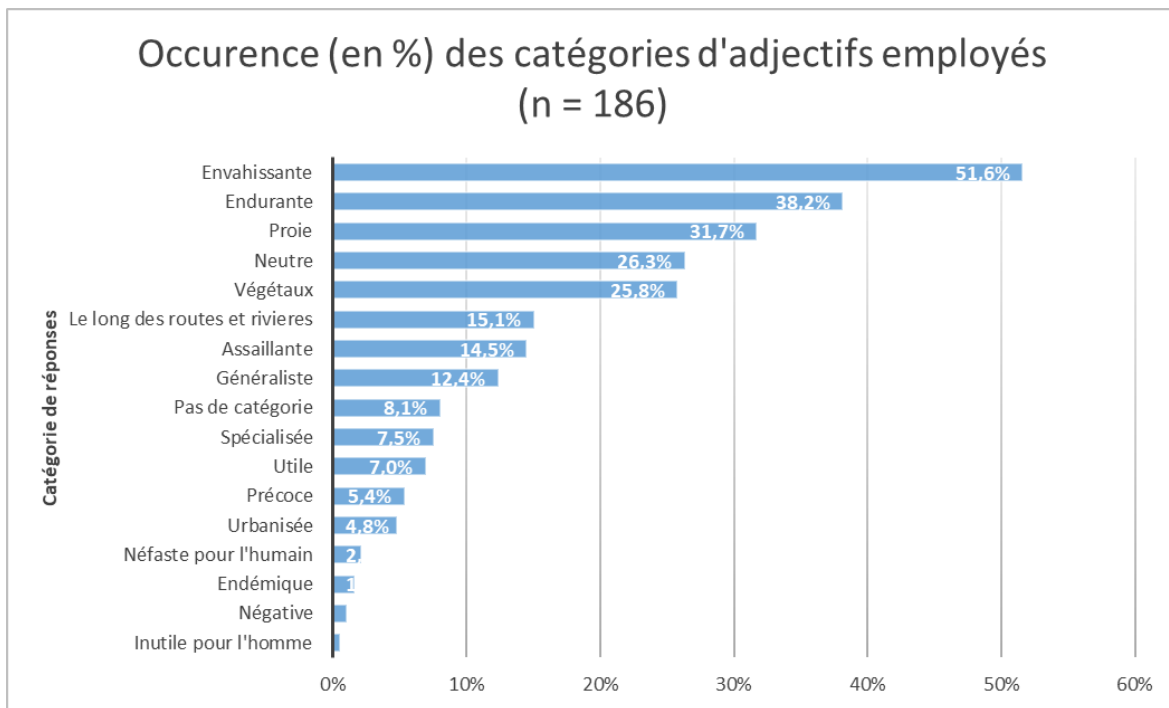


Figure 9 : Fréquence des mots-clés employés pour décrire les catégories d'espèces jouables

Cent quatre-vingt-six élèves ont répondu à cette question Q6 demandant de nommer les classes (sous-groupes) espèces qu'ils avaient identifiées durant le déroulé de la partie. Concernant les catégories d'adjectifs utilisés, un peu plus de la moitié des joueurs-apprenants ayant répondu

aux questionnaires qualifient une des catégories d'espèces comme étant « envahissante », il s'agit de la première occurrence totalisée (Figure 9).

L'annexe C précise les élèves ayant utilisé *stricto sensu* le terme d'envahissant (22). Nous pouvons également nous attarder sur la fréquence d'apparition du terme « invasive » (25), homologue anglophone. La combinaison des deux termes (47 occurrences en Q6), représente, à elle seule, un peu plus de 25 % de fréquence d'utilisation de tous les joueurs-apprenants ayant répondu à cette question.

C. Conceptualisation des Espèces Exotiques Envahissantes

1. Les espèces avantagées

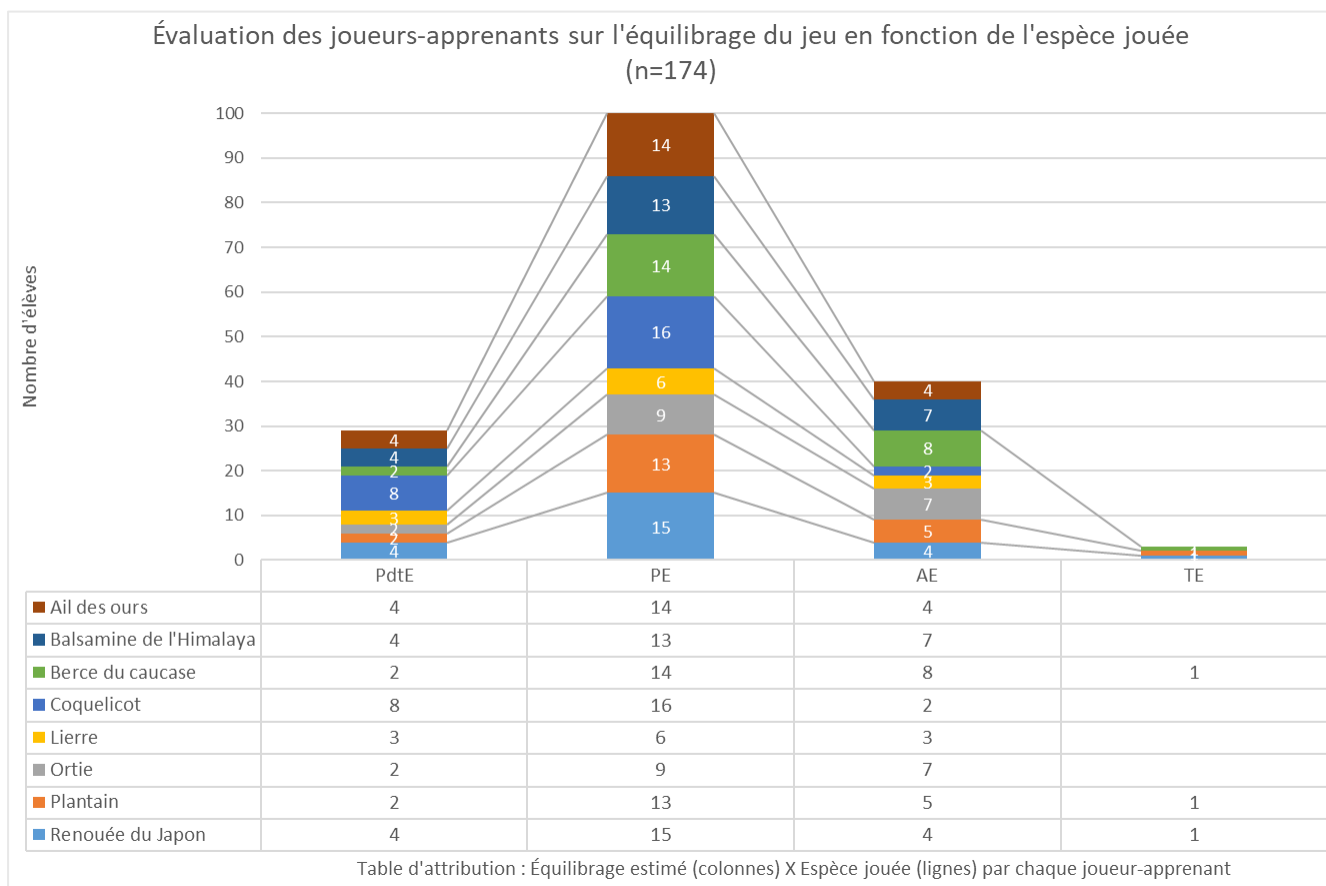


Figure 10 : Équilibrage évalué par les joueurs en fonction de l'espèce jouée lors de leur partie.

Sur les 172 joueurs-apprenants ayant répondu à la question Q8 « Trouvez-vous que le jeu était équilibré ? », 29 ont estimé que le jeu n'était « pas du tout équilibré », 100 qu'il était « peu équilibré », 40 « assez équilibré » et 3 « très équilibré ». Un test de Khi² (χ^2) ne met pas en lumière une corrélation entre la réponse formulée par les joueurs-apprenants par rapport à l'espèce

jouée lors de la partie (p-valeur = 0,69) (Figure 10: Équilibrage évalué par les joueurs en fonction de l'espèce jouée lors de leur partie.).

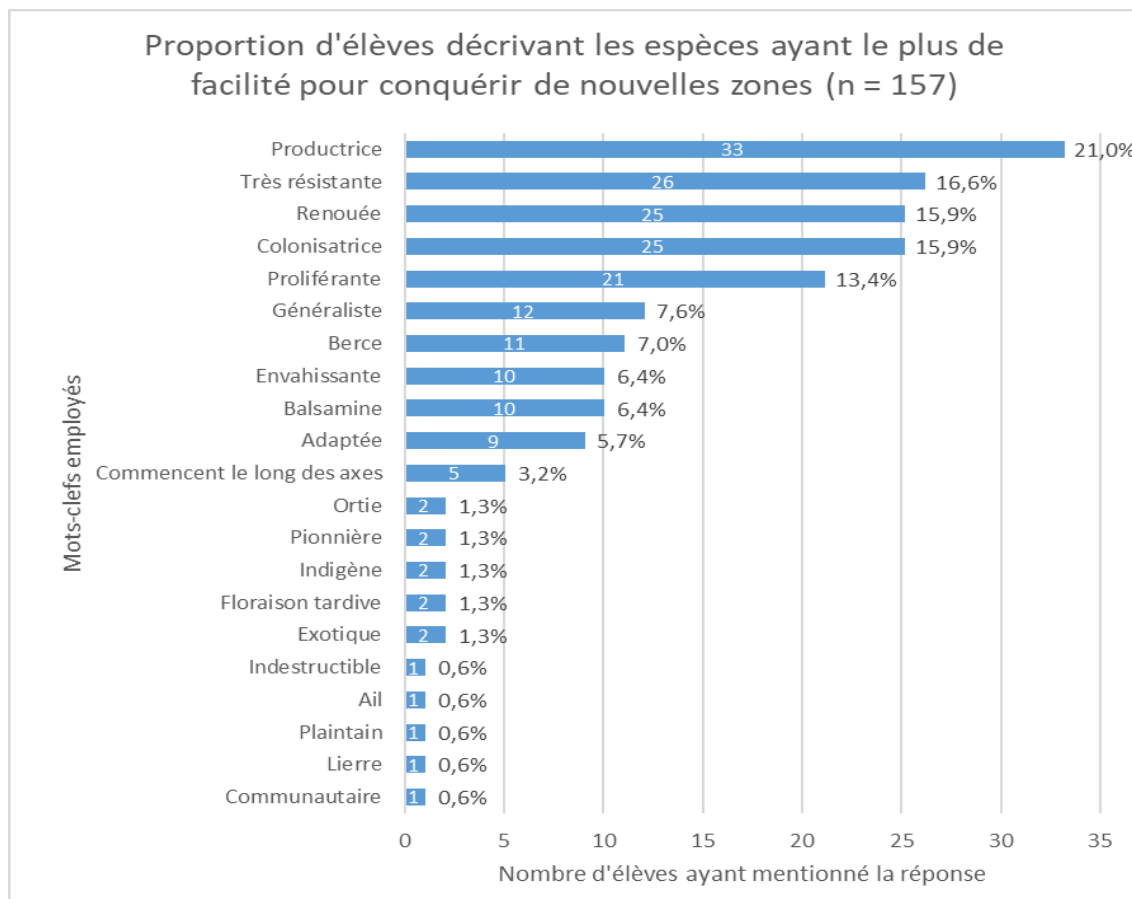


Figure 11 : Occurrence des mots-clefs utilisés par les joueurs-apprenants pour décrire les espèces qui colonisent le plus facilement.

À la Q9 : « Estimez-vous que certaines espèces aient plus de facilités pour conquérir de nouvelles zones ? (Figure 11)

- Les caractéristiques « *productrice* » (de graines), « *colonisatrice* » (de nouvelles zones) et « *proliférante* » représentent un total cumulé de 52,8 % d'occurrence. Ces trois termes sont en effet des caractéristiques propres à la dynamique de population des 3 espèces exotiques envahissantes jouables et sont donc les réponses considérées comme correctes ;
- La caractéristique « *très résistante* » de la renouée du Japon est la deuxième occurrence la plus nommée et est en proportion homogène avec le nombre d'occurrences de « *renouée* » ;
- Les trois espèces identifiées par les joueurs-apprenants comme étant celles ayant le plus de facilité pour conquérir de nouvelles zones sont la renouée du Japon, la berce du Caucase et la balsamine de l'Himalaya, ces réponses sont considérées comme correctes ;

- Le terme « *exotique* » n'est que peu employé dans cette question (moins de 2 %), cette réponse est considérée correcte ;
- Un nombre restreint (moins de 2 % des participants) a identifié au moins une espèce indigène comme étant avantagée pour coloniser de nouvelles zones.

Cependant, sur les 43 joueurs-apprenants ayant répondu que le jeu était « *assez équilibré* » ou « *très équilibré* », seuls 5 d'entre eux n'ont pas répondu à la Q9. Concernant les 38 autres participants, ces derniers ont répondu, à minima que « *oui* », certaines espèces ont plus de facilité pour coloniser de nouvelles zones.

2. Définition et conceptualisation des EEE jouables par les joueurs - apprenants

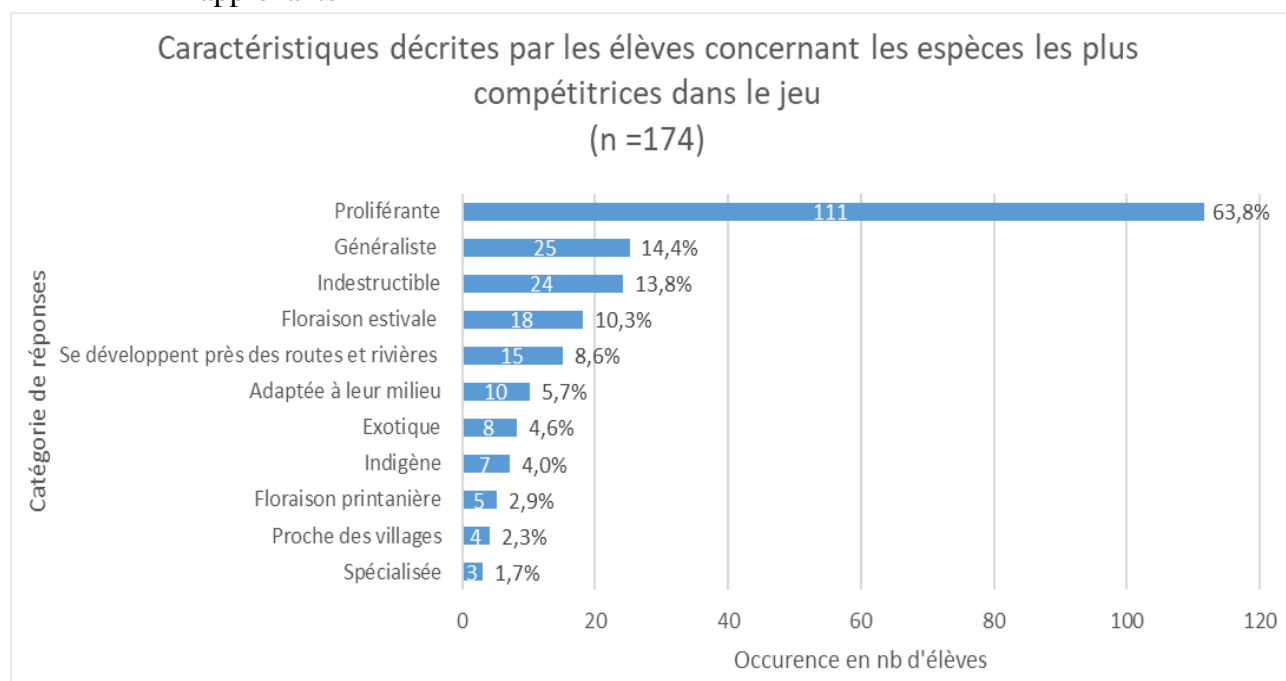


Figure 12 : Description des joueurs-apprenants concernant les espèces les plus compétitrices du jeu

La majorité des élèves ayant répondu à la question Q10 « *Quelles sont les caractéristiques communes aux espèces les plus compétitives ?* » décrivent les espèces les plus compétitrices de *Microcosme* comme « *proliférantes* » (Figure 12). La catégorie « *proliférante* » reprend majoritairement les termes « *proliférique* », « *proliférante* » et « *envahissante* » (voir Annexe J). La caractéristique « *exotique* » n'a été évoquée que par 8 joueurs-apprenants et ne fait donc pas partie des occurrences les plus importantes.

Soixante-quatre joueurs-apprenants ont répondu à la dernière question du formulaire : « Il n'y a en réalité que deux catégories d'espèces représentées dans le jeu auquel vous venez de jouer. Si vous avez eu une réponse différente de 2, veuillez préciser comment vous nommeriez ces deux catégories et sur quel(s) critère(s) vous basez-vous pour les classer. »

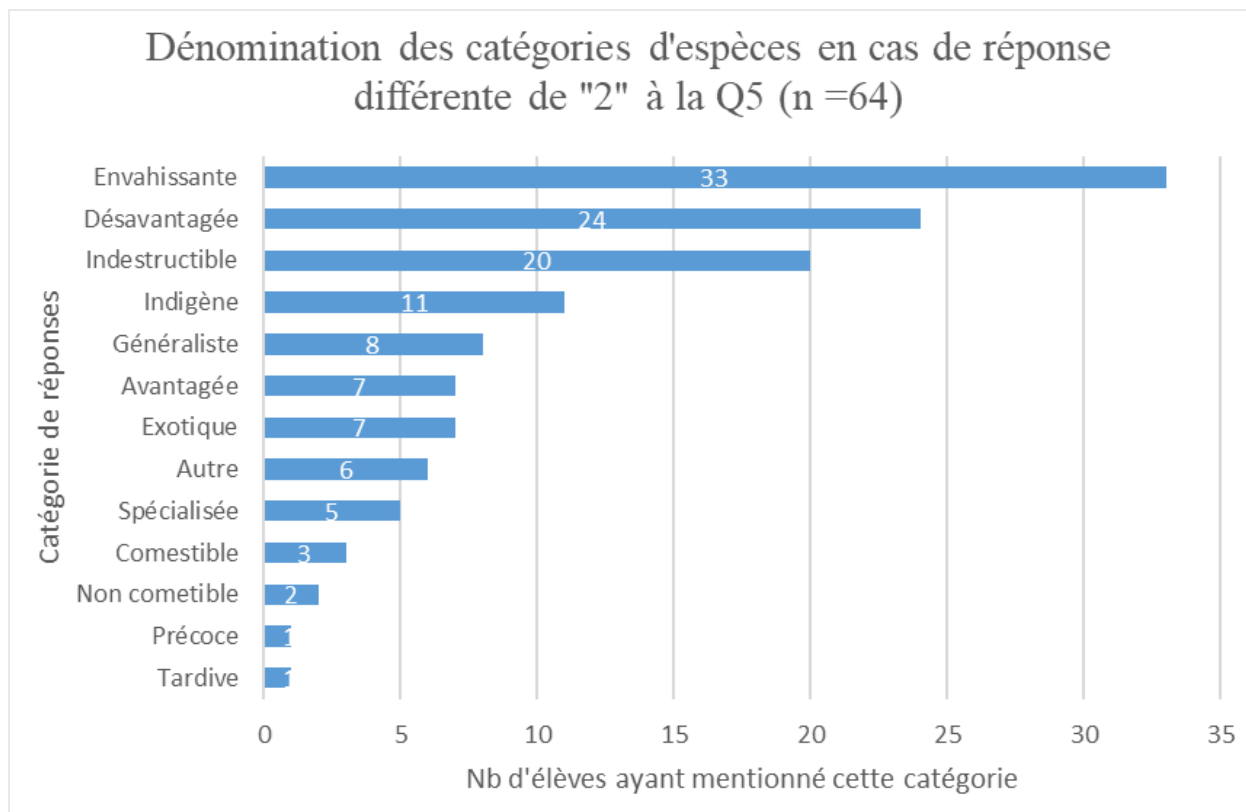


Figure 13 : Description des 2 catégories d'espèces. À compléter si la réponse à la Q5 n'était pas « 2 »

La Figure 13 nous indique qu'après avoir précisé qu'il n'y avait que 2 catégories d'espèces jouables dans le jeu, les caractéristiques des EEE qui ont été mentionnées, par les joueurs-apprenants, en majorité sont « envahissante » (51 %) et « indestructible » (31 %). En cumulant, les 96 élèves à la Q5 et 33 supplémentaires à la Q15, soit 129 élèves sur 200 joueurs-apprenants (64,5 %) identifient le caractère « envahissant » des EEE jouables. Concernant la caractéristique « exotique », celle-ci n'est évoquée que par 11 % des joueurs-apprenants ayant répondu à la Q15.

Concernant les espèces indigènes jouables, 37,5 % des réponses indiquent que ces espèces sont « désavantagées » et 17 % relèvent le caractère « indigène » de ces espèces. Enfin, 11 % des joueurs-apprenants utilisent les caractéristiques de comestibilité, de périodes de floraison ou autres pour classer les espèces jouables en 2 catégories distinctes.

D. Relations identifiées entre *Microcosme* et la réalité

1. Le plateau de jeu

Septante pour cent des élèves estiment que le plateau de jeu est divisé en plusieurs types de cases afin de permettre de simuler le lien qu'il existe entre les espèces jouables et les habitats présentés (Q7 ; n = 161 ; Figure 14). Un tiers des répondants évoque le fait que le plateau est divisé en différentes zones pour représenter une spatialisation de l'écosystème local. Ces réponses incluent principalement des réponses expliquant que les espèces représentées vivent dans plusieurs milieux ou lieux de vie, mais sans plus de précisions (Annexe F).

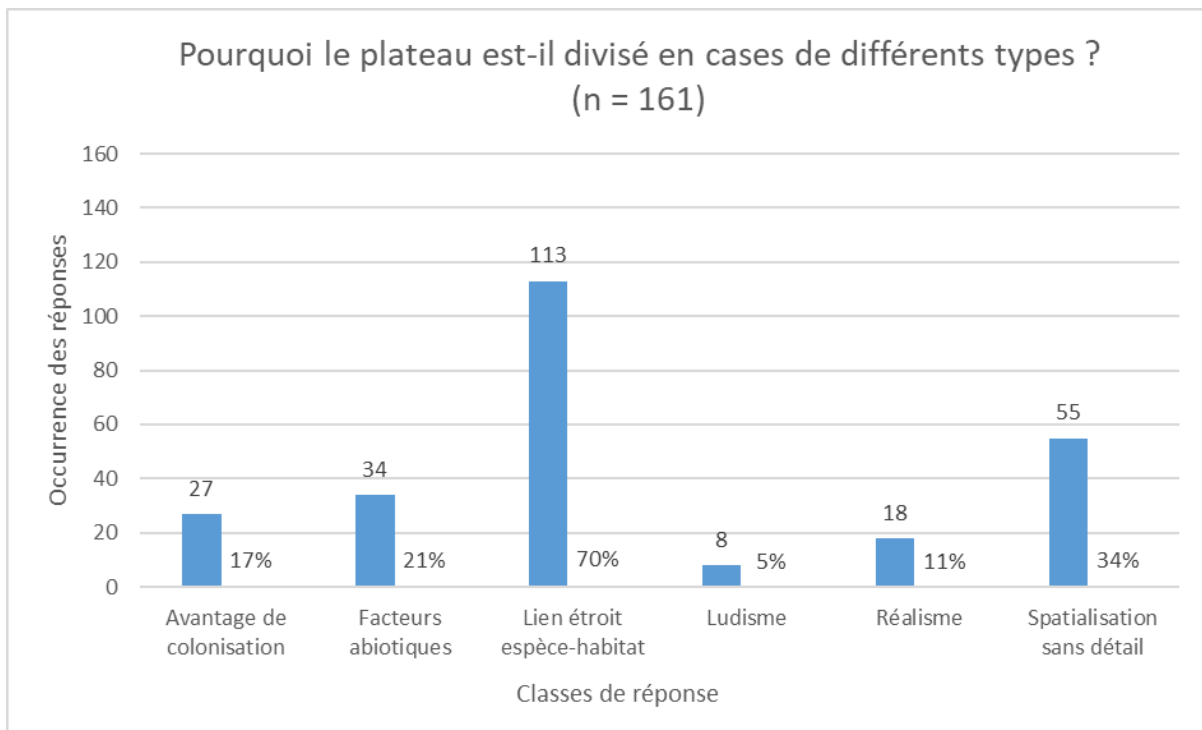


Figure 14 : Origine des 6 types de cases du plateau selon les joueurs-apprenants

Vingt-et-un pour cent des répondants expliquent que le plateau est divisé en cases de différents types afin de modéliser l'ensemble des facteurs abiotiques et besoins d'une espèce pour pouvoir s'y développer (voir chap.II.D.2). Il nous semble important de préciser que la quatrième catégorie de réponses la plus fréquente (17 %) « Avantage de colonisation » signifie les avantages ou limites qu'ont certaines espèces à coloniser un biotope tandis que le reste des réponses formulées expliquent une volonté de réalisme (11%) ou un but purement ludique (5 %), mais ces joueurs-apprenants ne font pas de lien supplémentaire à la réalité.

2. Les cartes espèces

Dans cette partie, les joueurs-apprenants sont invités à s'exprimer sur les caractéristiques des espèces jouables et les liens qu'ils interprètent avec la réalité. Il est à remarquer que la question Q7 : « *Selon vous, pourquoi chaque espèce de plante possède des pouvoirs qui diffèrent des autres ?* » est celle ayant le plus grand taux d'abstention comparativement aux 10 premières se trouvant sur la même feuille double face (Figure 4 ; annexe D).

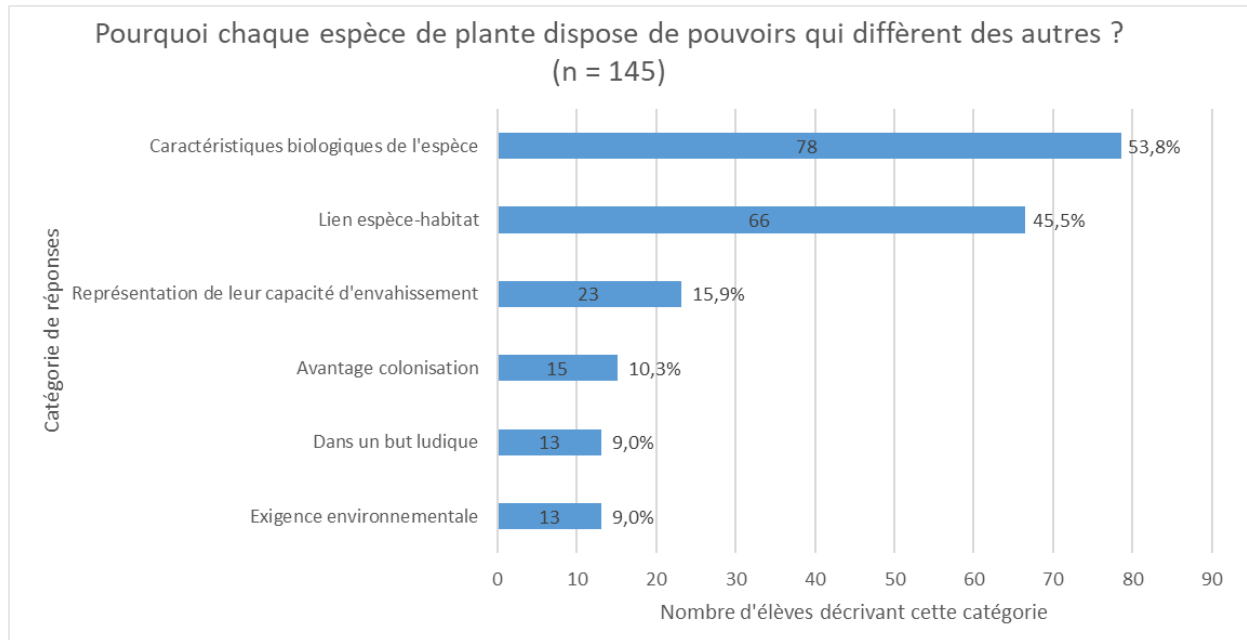


Figure 15 : Explication des joueurs-apprenants concernant les pouvoirs des cartes-espèces

Près de 54 % des élèves ayant répondu (78 sur 145) estiment que les pouvoirs sont basés sur les caractéristiques réelles des espèces (Figure 15). 45,5 % d'entre eux estiment également qu'il existe un lien fort entre l'espèce et son habitat et que celui-ci est la raison de l'attribution des pouvoirs aux différentes espèces. Parmi ceux-ci, 11 % d'élèves précisent que ce lien résulte de l'évolution de l'espèce et de son adaptation à son habitat (Annexe H).

Enfin, concernant le troisième type de réponse le plus fréquemment rencontré « *Représentation de leur capacité d'invasion* », il s'agit d'une catégorie de réponses dont ces dernières expriment de manière claire qu'il s'agit de caractéristiques propres à la capacité d'invasion des espèces, à la différence de la catégorie « *Caractéristiques biologiques de l'espèce* » qui ne se focalise pas sur la capacité des espèces à croître, se reproduire ou coloniser de nouvelles zones et habitats.

3. Perception des joueurs-apprenants relative aux apprentissages réalisés

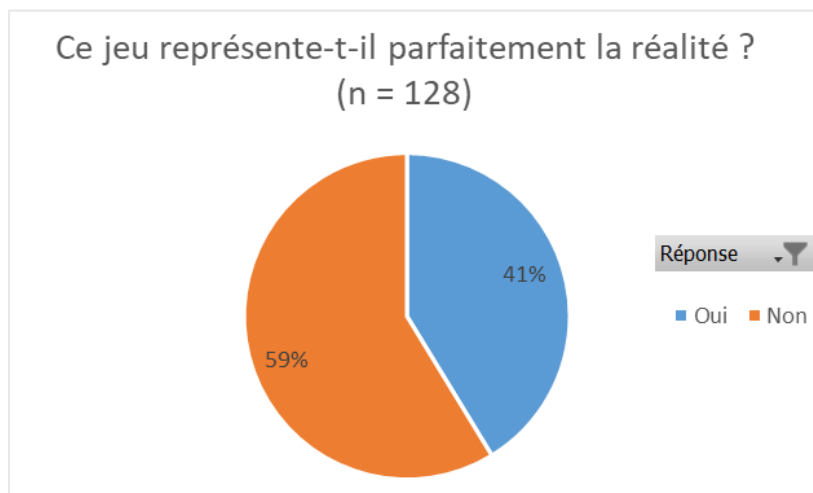


Figure 16 : Avis des participants concernant la fidélité de la simulation à la réalité

Sur les 128 réponses collectées, 74 joueurs-apprenants estiment que le jeu ne représente pas parfaitement la réalité (Figure 16).

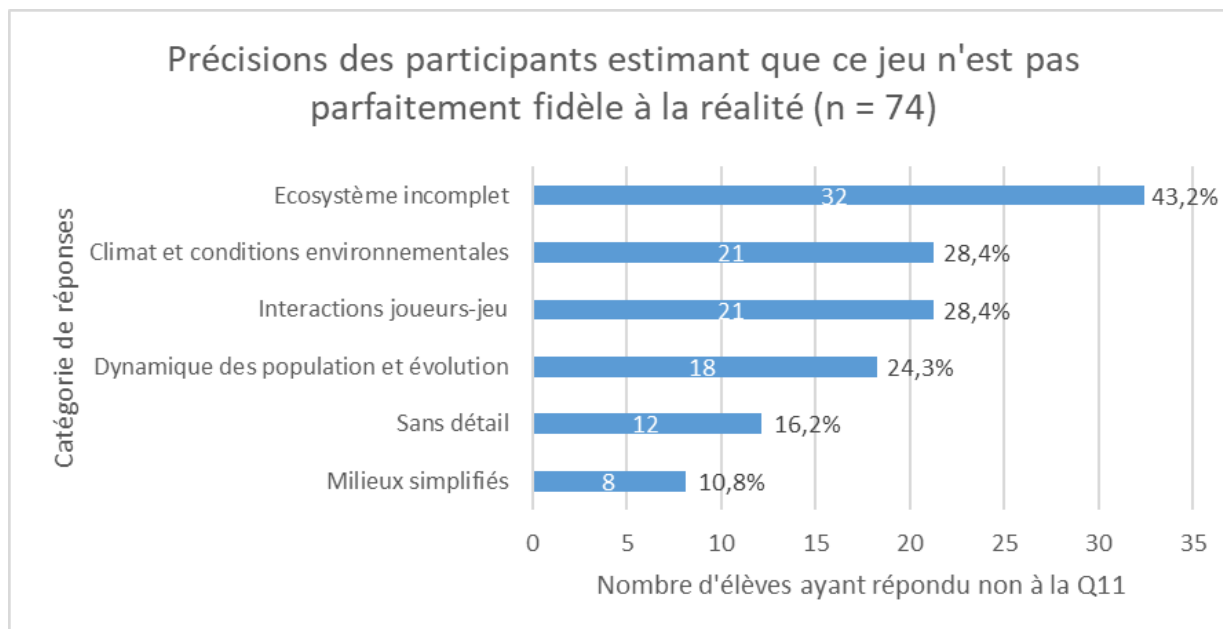


Figure 17 : Raisons expliquées par les joueurs-apprenants concernant la divergence de la simulation à la réalité (Q11)

Concernant le modèle représenté par le jeu et ses limites, nous ne considérons que ceux ayant répondu « Non ». Ceux-ci estiment que la simulation est fidèle à la réalité ne pouvant pas,

par définition, nommer les éléments manquants. La première tendance ressortant majoritairement de ces résultats (Figure 17) est que les écosystèmes sont incomplets (diversité, animaux, etc.) (43,2%). Les facteurs abiotiques et climats cités par les joueurs-apprenants (28,4 %) sont précisés en Annexe K. Ceux estimant que le facteur humain est trop important et qu'il impacte directement la simulation (28,4 %) mentionnent principalement les alliances et compétitions entre joueurs, hors contexte de la réalité biologique (Annexe K). Ensuite, il est également mentionné que l'impact de l'évolution et adaptation des espèces sur la dynamique des populations n'est pas représenté (24,3%). Enfin, les deux dernières occurrences ne mentionnent que peu de détails supplémentaires.

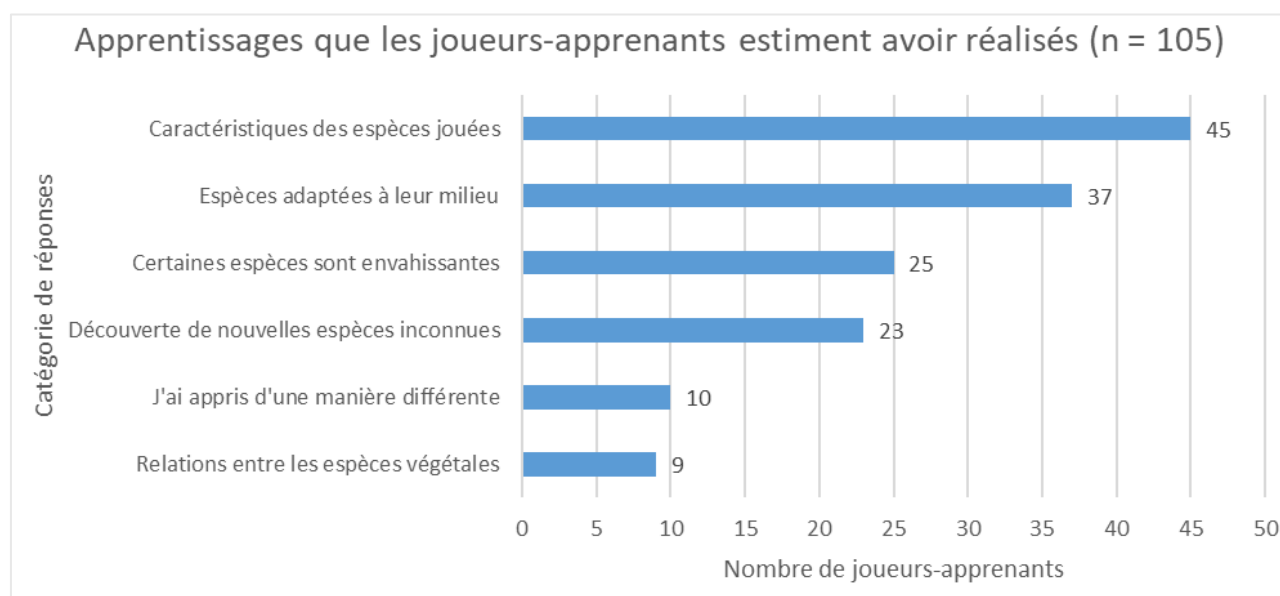


Figure 18 : Apprentissages que les joueurs-apprenants estiment avoir réalisés (Q12)

Parmi les 133 joueurs-apprenants ayant répondu à cette question, 117 (88 %) estiment avoir appris ou compris quelque chose grâce à ce dispositif (Figure 18). Et, parmi les élèves ayant estimé avoir réalisé des apprentissages, seulement 12 élèves ne précisent pas ce qu'ils ont appris. Les détails précis des réponses sont présents en annexe L.

E. Satisfaction des joueurs-apprenants

Au total, 94 % des participants ayant répondu estiment être, à minima, satisfaits d'avoir participé à la session de jeu, seuls 6 % des apprenants estiment que cette expérience ludique ne leur apporte pas du tout ou peu de satisfaction (Figure 19).

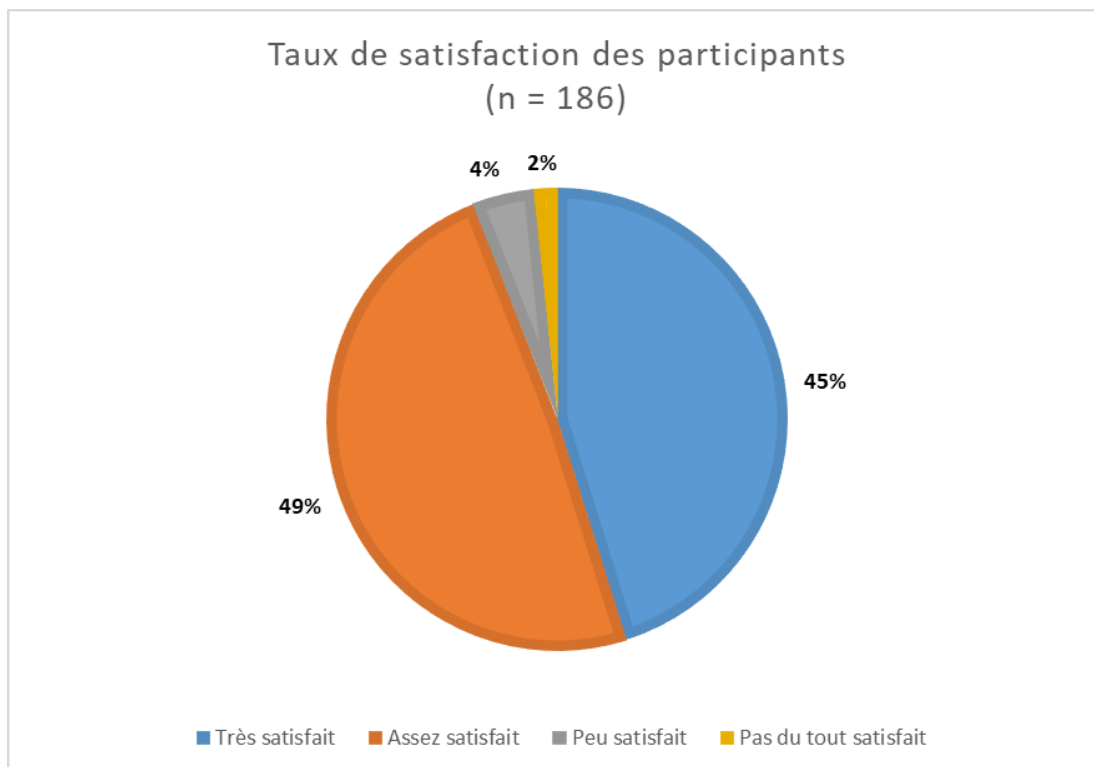


Figure 19 : Satisfaction des joueurs-apprenants après avoir participé au jeu didactique (Q3)

A la question « *Quel est votre ressenti face à l'utilisation de dispositif de jeu dans le cadre de l'apprentissage à l'école ?* », les cinq premières formules les plus usitées par les participants sont respectivement : *Apprendre différemment* (26), *Amusant* (24), *Ludique* (22), *Facilite l'apprentissage* (18) et *Théorie nécessaire [en complément]* (16).

Mentionnons cependant, quelques commentaires plus mitigés, mais peu fréquents : *Infantilisant* (2), *Pas utile* (1), *Pas très fan* (1), *Difficile à prendre en main* (1), *Matière non principale* (1), *Matière peu intéressante* (1), *Lien à la réalité difficile* (1), *À faire dans une autre matière* (1) et *Cours théorique permet de réaliser plus d'apprentissages* (1). Ainsi, nous avons relevé un total de 10 commentaires négatifs (7,8 %). La liste complète des occurrences peut être consultée en annexe M.

Moins de 25 % des joueurs-apprenants ont répondu à la question Q14 « *Si vous avez des remarques sur le dispositif de jeu que vous venez de tester, n'hésitez pas à les lister ci-dessous* ». Il s'agit de la question ayant le taux de participation le plus faible (Figure 20).

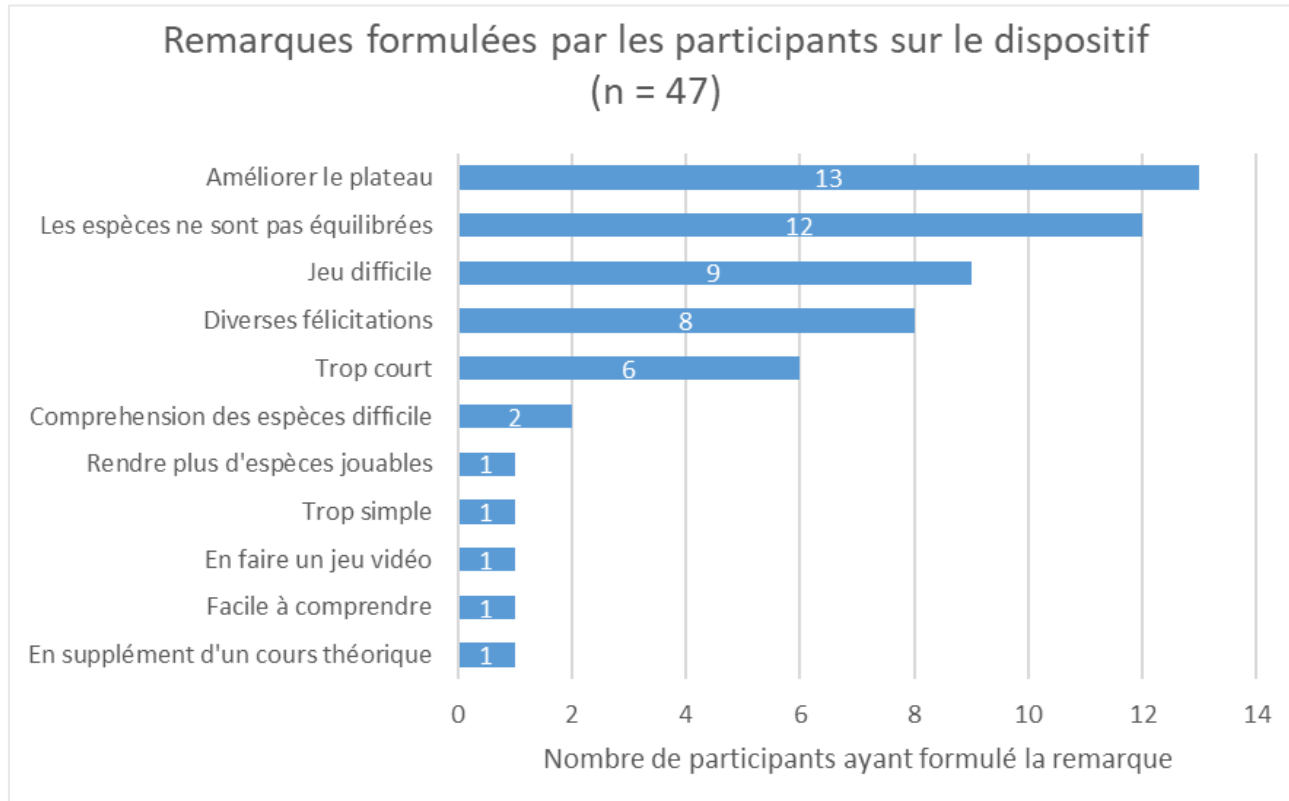


Figure 20 : Remarques formulées par les joueurs-apprenants concernant le dispositif Microcosme (Q14)

Les remarques formulées concernent principalement la compréhension du plateau de jeu (légende des cases, taille des cases et du plateau) (13), la difficulté de prise en main du jeu (9), ou le temps à disposition pour réaliser les 5 tours de jeu initialement visés (6) (Figure 20). Le commentaire « *Les espèces ne sont pas équilibrées* » fait référence au fait que toutes les espèces n'ont pas les mêmes chances de gagner la partie. Enfin, la « *compréhension des espèces difficiles* » (2) fait référence aux remarques relatives à la difficulté que les joueurs ont éprouvée à appliquer les effets des pouvoirs de certaines espèces en jeu.

F. Observations réalisées en classe

Des pertes de temps ont été observées à l'entrée des élèves en classe.

Nous avons pu observer, avec certains professeurs, que des alliances se créent, de temps à autre, entre joueurs pendant une partie.

Lors de courts entretiens avec les professeurs accueillants, il est apparu qu'une majorité d'entre eux étaient préalablement favorables à l'inclusion de dispositifs ludiques au sein de leur méthode d'enseignement ou en utilisaient déjà. À travers ces échanges, un seul professeur accueillant a indiqué ne pas être intéressé par l'inclusion de dispositifs ludiques au sein de sa méthode pédagogique pour des raisons pratiques : temps et énergie investis au détriment d'un cours ex cathedra.

Concernant les questionnaires, plusieurs observations ont pu être réalisées lors des tests post-jeu effectués en classe :

- Les joueurs-apprenants semblent remplir le questionnaire dans l'ordre chronologique des questions sans aller voir la totalité du formulaire avant de commencer à le compléter.
- Dans plusieurs classes, la sonnerie de la fin d'heure de cours a retenti avant que les élèves aient eu le temps de répondre à toutes les questions.
- L'observateur a été plusieurs fois interrogé sur la signification ou le sens des questions Q5 et Q6.

Le contact avec les élèves présents et participant à l'expérience a été agréable du point de vue du mémorant et les participants ont posé de nombreuses questions en fin de séances.

IV. Discussion

A. Interprétation des résultats

1. H_1 : Détection des espèces exotiques envahissantes

a) *Connaissances préexistantes*

Peu de participants connaissent préalablement les espèces exotiques envahissantes jouables. La matière n'ayant pas encore été abordée avec les professeurs qui ont accepté de nous accueillir et vu que les espèces sélectionnées pour représenter les EEE jouables sont parmi les espèces végétales posant problème en Belgique (Chap. I.A) les plus connues (Delbart et al., 2010), nous pouvons donc considérer que les connaissances préexistantes sur les EEE végétales sont faibles voire nulles. Cependant, nous devons prendre en considération que le phénomène de *plant blindness*, peut avoir un impact sur l'évaluation des connaissances préalables des participants (Amprazis & Papadopoulou, 2023; Jose et al., 2019; Torres-Porrás et al., 2024). Ainsi, il est tout à fait possible que certains participants connaissent déjà des EEE animales mais que le transfert sur les EEE végétales n'ait pas été réalisé, ce qui serait corroboré par les observations de Amprazis & Papadopoulou (2023) à cause du désintérêt pour les espèces végétales.

b) *Nombre de catégories d'espèces jouables*

À la suite de l'analyse des réponses concernant le nombre de catégories d'espèces jouables, les joueurs-apprenants ont considéré, en majorité, qu'il y avait 3 catégories différentes de plantes jouables. Cette réponse n'est pas la réponse attendue par notre étude. En effet la réponse « 2 catégories d'espèces jouables » était la réponse correcte. Cette dernière est classée deuxième en nombre d'occurrences. Ainsi, sur ce point, *Microsome* semble ne pas avoir fait bien comprendre qu'il fallait opposer deux catégories distinctes : les EEE et les espèces indigènes.

Afin de comprendre les raisons de la classification des joueurs apprenants en 3 catégories, attardons-nous sur les espèces regroupées dans ces catégories. Sur base des réponses formulées en Q6, les joueurs apprenants identifient trois groupes d'espèces distinctes :

- 1) Berce et balsamine ;
- 2) Renouée ;
- 3) Lierre, plantain, ortie, coquelicot et ail des ours.

Ces 3 catégories semblent logiques dès l'instant où les élèves ayant joué avec la renouée du Japon la considèrent comme singulièrement différente grâce à sa capacité de résistance que nous détaillons dans la partie suivante. Il semblerait donc que la trame narrative (colonisation de biotopes par des plantes), élément essentiel au jeu (Al-Azawi et al., 2016; Gagnon & Karsenti, 2016), permette aux joueurs-apprenants de comprendre que les espèces indigènes étaient concurrencées par d'autres espèces, mais insuffisante pour fédérer tous les participants autour du principe que les EEE faisaient partie d'un même ensemble, au sens du jeu. Cette observation confirme que le contexte ludo-narratif d'un jeu permet de réaliser des apprentissages (Gagnon & Karsenti, 2016), dans notre cas, qu'il existe plusieurs types d'espèces représentées dans *Microcosme*, découvertes par les joueurs en expérimentant leurs capacités (Schaeffer, 1999) et en adoptant leur stratégie à ce contexte (McGonigal, 2011), mais que cette trame doit être précisément balisée par les règles et mécaniques du jeu afin que le message didactique puisse être transmis et intégré dans son entièreté (Gagnon & Karsenti, 2016; Muell et al., 2020).

Concernant H₁ : Les joueurs-apprenants différencient les EEE des espèces indigènes représentées dans *Microcosme*. Cependant, nous devons nuancer : la renouée est classée dans un groupe différent des autres EEE. Nous devons donc nous intéresser aux critères sur lesquels les joueurs-apprenants différencient ces groupes, afin d'être sûr que ceux-ci ne confondent pas EEE et espèces indigènes colonisant fortement son habitat, ce qui est actuellement un fait dans la société (Lévêque et al., 2012). Cette hypothèse (H₁) n'est donc pas parfaitement vérifiée.

2. H₂ : Caractérisation des espèces exotiques envahissantes

Les joueurs-apprenants remarquent en majorité que *Microcosme* est peu équilibré. Cette réponse est, en effet, correcte. De plus, les espèces ayant été identifiées comme avantagées sont : la renouée du Japon, la balsamine de l'Himalaya et la berce du Caucase. Ces espèces provoquant le déséquilibre du jeu ont bien été décrites comme envahissantes ou potentiellement indestructibles. Ce résultat est satisfaisant d'un point de vue didactique et permet de remarquer que la transmission générale de savoirs semble avoir lieu lors de l'expérience *Microcosme* est en accord avec les capacités de transmission didactique du support « jeu » observées dans d'autres matières (Bayir, 2014; Cardozo et al., 2016; Luchi et al., 2019; Muell et al., 2020). Cependant, nous devons étudier un peu plus finement ces résultats afin de comprendre avec précision comment les joueurs interprètent la réalité à travers le jeu.

Les EEE jouables ont été conceptualisées, par les joueurs-apprenants, en insistant sur leurs caractères généralistes et envahissantes ainsi que sur leurs facultés de dispersion comme décrite par Delbart (2010) et Schnitzler & Muller (1998) : la renouée en étant imprenable⁶ sur n'importe quelle case tandis que la berce et la balsamine produisent une quantité exponentielle de pions à proximité des routes et berges de rivière, leur lieu d'entrée.

Cependant, il semblerait qu'en l'état, le jeu didactique « *Microsome* » permette aux joueurs-apprenants de comprendre que la renouée du Japon est une espèce très résistante, qu'elle ne peut être supplantée par une autre espèce, mais que ceux-ci considèrent la renouée du Japon comme une catégorie différente des autres EEE jouables (voir H₁). Ce précédent résultat mitige donc le message que tente de faire passer *Microcosme* : les EEE sont envahissantes, mais la renouée du Japon également. Ce petit écart à l'apprentissage que veut transmettre ce jeu reflète la difficulté avec laquelle la ludification est complexe et doit être bien intégrée (Domínguez et al., 2013; Gagnon & Karsenti, 2016; Muell et al., 2020)

Enfin, si les joueurs-apprenants décrivent bien les capacités d'envahissement de la berce du Caucase et la balsamine de l'Himalaya par une reproduction importante, et la renouée du Japon par sa résistance, ce qui semble soutenu, dans un deuxième temps, par la Q15, l'aspect « exotique » l'est beaucoup moins. Seuls, 8 joueurs-apprenants mettent en avant cette caractéristique dans un premier temps, en réponse à la Q10 « *Quelles sont les caractéristiques communes des espèces les plus compétitives ?* », et sont rejoints par 7 autres élèves dans la Q15. Tout au plus, le fait que ces espèces arrivent, en premier lieu, par les axes de communication (routes et rivières) a été interprété par environ 15 % des joueurs-apprenants, ce qui est bien inférieur au caractère « envahissant et prolifique » identifié, au total, par 63,8 % des répondants à la Q10. Nous interprétons ce résultat comme le fait que le caractère exotique ne transparait pas suffisamment dans le jeu. À posteriori, ce résultat nous semble assez compréhensible dans la mesure où ce caractère n'est pas suffisamment mis en avant dans *Microcosme*. Il n'influence que peu les règles ou le déroulé du jeu : l'origine des espèces n'est mentionnée que dans le nom de l'espèce et la première colonisation d'une EEE est obligatoirement une case « *berge de rivière* » ou « *route* » afin de retranscrire l'arrivée de l'espèce par les canaux de mobilité favorable à la dissémination assistée par l'activité

⁶ Le pouvoir de la renouée du Japon en jeu est qu'elle est indestructible en raison de son système de rhizomes (Delbart et al., 2010; Portail environnement Wallonie, s. d.).

de l'humain (camions, bateaux, amont-aval lors de fauche) (Portail environnement Wallonie, s. d.). Il est possible que l'origine géographique n'ait pas été prise en considération par les participants du fait que les noms des espèces, mentionnant cette origine, ne soient pas similaires sur un plan sémantique : Japon, Himalaya et Caucase sont respectivement un pays, une chaîne de montagnes et une zone géographique limitant, par tradition Europe et Asie. Ces « origines » ne sont peut-être pas perçues par les élèves comme ayant une signification quelconque pour le jeu et le savoir à transmettre, ce constat peut également s'appliquer à la mécanique liée au point de départ de l'EEE jouable lors de son premier tour de dissémination. À cet égard, le jeu didactique ne remplit pas totalement le contrat (Cariou et al., 2015; Muell et al., 2020), cet écueil a été observé dans une étude centrée sur l'apprentissage de concepts écologiques complexes par le jeu (Muell et al., 2020), étude actuelle la plus proche de notre objectif de recherche, où un élément constitutif du jeu ne transparait pas suffisamment auprès des joueurs (Marlot, 2018).

Pour conclure cette partie, en cumulant la Q5 et la Q15, nous arrivons à un total cumulé de 64,5 %⁷ de joueurs-apprenants qui opposent les espèces envahissantes et les espèces non-envahissantes. Une majorité des joueurs-apprenants ont donc fait émerger le concept d'espèce envahissante par leur expérience acquise durant le jeu, et ce, sans la moindre explication théorique dispensée par un cours type « *ex cathedra* ». Ce résultat confirme que le jeu peut être un outil didactique permettant un gain significatif de connaissance par le jeu (Miralles et al., 2013; Al-Azawi et al., 2016, p.; Skukan et al., 2020) et de réaliser des apprentissages dans le domaine de la biologie (Riopel et al., 2019; Muell et al., 2020). Cependant, nous ne parvenons pas à réaliser un apprentissage complet sur un thème biologique complexe (l'exotisme n'est pas mis en avant par les élèves dans le cas des EEE). Nous pourrions faire le parallèle entre ces résultats obtenus et Morel et al. (2022) avec son étude du jeu « *End of the World Begins in Kurtna* » traitant de l'impact de l'humain sur les services écosystémiques. En effet, cette étude montre que le jeu permet un gain de connaissances relatif, mais ne permet pas aux joueurs-apprenants de dresser une synthèse complète et généralisée des services écosystémiques illustrés par le jeu. En ce sens, nos résultats sont ici similaires : le gain partiel de connaissance est réel (caractéristique envahissante), mais non complet et généralisé : les espèces compétitrices n'ont pas été identifiées comme exotiques).

⁷ 96 élèves à la Q5 et 33 supplémentaires à la Q15, soit 129 élèves sur 200 participants

L'hypothèse H₂ est donc réfutée, la caractéristique exotique n'est pas transmise. Cependant, il convient de nuancer : la caractéristique « envahissante » émerge. La conception correcte des EEE est donc partielle et des savoirs ont bel et bien été transmis ce qui mitige H₂.

3. H₃ : Apprentissages réalisés grâce au jeu et à ses mécaniques ?

Le questionnaire ayant été pensé pour accompagner le joueur-apprenant dans sa réflexion, plusieurs questions sont contributrices de l'objectif d'émergence du concept « d'espèce exotique envahissante ». Par exemple, la Q4 a pour objectif de faire réfléchir le joueur-apprenant sur le fait que certaines espèces sont adaptées au biotope dans lequel elles évoluent et que cela se traduit, en jeu, par l'avantage qu'ont les espèces indigènes jouables à coloniser les zones auxquelles elles sont adaptées. En comparaison, les espèces exotiques envahissantes, dans les mécaniques du jeu, ont plutôt la capacité d'envahir tous les types de cases (donc de biotopes), tout en arrivant au début de la partie par les routes et berges de rivières traduisant les zones par lesquelles ces espèces arrivent généralement dans une zone géographique.

De plus, les résultats obtenus nous permettent de remarquer qu'au moins la moitié des joueurs-apprenants ont bel et bien compris que le jeu était basé sur le lien entre les espèces et les cases du plateau représentant des biotopes (70 %) et que certaines espèces avaient des caractéristiques biologiques qui leur donnaient un avantage sur les autres (53,8 %) (colonisation de biotopes précis pour les espèces indigènes grâce à leur pouvoir), cela traduit le fait que le jeu permet de réaliser des apprentissages grâce aux mécaniques intrinsèques du jeu et est en adéquation avec certaines études observant un gain significatif de connaissances (Miralles et al., 2013; Al-Azawi et al., 2016; Morel et al., 2022).

Dans le cadre de notre étude, le questionnaire nous a permis non seulement de collecter des données, mais aussi de guider l'apprenant dans sa réflexion post-jeu. En l'état actuel, il ne nous est pas possible de dissocier le jeu du test post-jeu afin de déterminer son impact sur la réflexion de l'apprenant, nous devons donc prendre en considération qu'il s'agit bien de la totalité de la session (jeu + questionnaire) qui amène aux résultats que nous avons pu collecter, ainsi qu'aux analyses qui en découlent. Il est admis que la phase d'institutionnalisation des connaissances et donc, la validation des nouveaux savoirs acquis par l'apprenant, par l'institution représentée par le professeur, est une étape primordiale (Lederman, 1983; Noel, 1997) dans l'auto-reconnaissance de ceux-ci par l'élève venant de participer au jeu (Plumettaz-Sieber, 2024).

Afin de nous intéresser un peu plus au rôle des mécaniques de jeu dans l'apprentissage et des bénéfices qu'elles pourraient apporter dans le cadre de notre étude, nous devons d'abord nous attarder sur la capacité du joueur-apprenant à comprendre la place du jeu dans l'enseignement ainsi que de ses limites. De plus, la Q11 portant sur les limites de la simulation présentée au travers de *Microcosme*, est difficile à interpréter. En effet, la simulation a été identifiée par 59 % des élèves ayant répondu comme imparfaite. Les élèves ayant répondu affirment que la simulation est imprécise du fait qu'elle soustrait plusieurs éléments importants tels que la présence des animaux, des facteurs climatiques ou encore qu'elle est grandement influencée par la stratégie utilisée par les joueurs, ce qui est tout à fait exact. Le résultat est satisfaisant sur le fait que plus de la moitié des répondants se rendent compte des limites du modèle. Ce résultat peut également conforter l'idée que la simplification du jeu, au cours de ces différentes versions, n'a pas été trop impactant à la compréhension des joueurs-apprenants, se concentrant alors sur la seule dynamique de développement des espèces jouables. Ceci soutient l'hypothèse selon laquelle, les joueurs-apprenants arrivent à faire le parallèle entre les mécaniques du jeu et la réalité et à en tirer des enseignements (Amato, 2011; Miralles et al., 2013; Bayir, 2014; Luchi et al., 2019), et ce également avec le contexte écologique actuel que ces mécaniques simulent (Muell et al., 2020; Morel et al., 2022).

D'un autre point de vue, 41 % des participants ayant répondu considèrent que la simulation est relativement fidèle à la réalité écologique. Nous nous attendions à un taux plus faible. Il est cependant possible que les réponses « à retour positif » sur la fidélité puissent être aussi causées par complaisance. En effet, un biais de validation sociale pourrait être en cause (Dompnier & Pansu, 2010), et ce même en ayant bien stipulé que les questionnaires étaient anonymes (Wagle et al., 2020). Le répondant, dans sa réflexion, pourrait penser que répondre que le jeu est fidèle à la réalité serait gratifiant pour la personne l'ayant développé et animé la séance. Ce point précis doit cependant être nuancé, car les questionnaires étant anonymes, le biais de validation sociale ne peut pas être plus limité.

Maintenant que nous avons constaté qu'une majorité des élèves considèrent que le jeu est une simulation ne reprenant pas tous les paramètres écologiques, le modèle proposé par *Microcosme* a bien été identifié comme un modèle simplifiant la réalité de manière relativement importante (suppression de l'influence des animaux et de l'action directe de l'humain, etc.) (Morge

& Doly, 2013). Cette simplification massive a été entreprise dans le but principal de rendre l'expérience *Microcosme* aménageable dans une séance de 50 minutes en comptant la phase de questionnaire. Les premières versions du jeu modélisant la réalité de manière plus fidèle, mais beaucoup plus chronophages, il aurait peut-être été possible de transmettre des savoirs en lien avec la gestion anthropique des EEE. Le choix d'un modèle plus ou moins complexe dépend de la volonté de l'enseignant à représenter la réalité avec le plus de fidélité possible tout en prenant en considération la balance coût-bénéfice permettant ainsi aux élèves de confronter leurs conceptions et savoirs à celui-ci et devient donc le support de la réflexion des participants (Morge & Doly, 2013). De plus, *Microcosme* de par la simplification de la réalité qu'il tente de représenter permet aux joueurs-apprenants de bien comprendre que ce modèle n'est pas une représentation parfaite de la réalité ce qui semble faciliter la réflexion épistémologique de l'apprenant sur l'objet didactique qu'il expérimente et le savoir à enseigner que ce modèle ludique propose (Morge & Doly, 2013).

Néanmoins, il est intéressant de se pencher sur les nouveaux apprentissages que les joueurs-apprenants estiment avoir expérimentés à la Q12. Pour rappel, seuls 133 élèves sur un panel de 200 y ont répondu. En effet, nous savons que le taux de participation baisse dès la onzième question (chapitre III.A.). Or, nous ne pouvons assurer avec absolue certitude que les 67 élèves restants auraient répondu dans des proportions similaires. Un scénario pessimiste prendrait en compte que l'ensemble des élèves n'ayant pas répondu, estiment ne pas avoir réalisé d'apprentissage durant la phase de jeu. Dans ces conditions, le pourcentage d'élèves estimant avoir appris quelque chose tomberait alors à 58,5 %, au lieu des 88 %. Cependant, puisque la tendance de l'évolution à la baisse de la complétion semble continue à partir de la Q11, et que les observations exposées dans la partie III.F soutiennent cette hypothèse, il semble probable que ces réponses restées vierges, l'aient été pour des raisons de temps et non pour signifier qu'aucun apprentissage n'a été réalisé.

En soutenant ce point de vue, sur les 88 % de joueurs-apprenants estiment avoir réalisé des apprentissages, près de la moitié de ceux-ci précisent qu'il s'agit des caractéristiques biologiques des espèces. Ce résultat indique que le « pouvoir » des espèces a bel et bien été interprété par les apprenants comme étant basé sur les caractéristiques biologiques des espèces représentées. Un peu plus d'un tiers estiment mieux connaître les biotopes des espèces jouables, leur spectre environnemental et environ un quart (24 %) font émerger le concept d'espèces envahissantes (sans la caractéristique exotique). Avec ces taux, nous ne pouvons pas parfaitement assurer que beaucoup

de joueurs-apprenants estiment avoir réalisé des apprentissages concernant les espèces envahissantes précisément. Mais nous pouvons en revanche aller dans le sens de l'hypothèse que ces joueurs-apprenants ont fait le lien entre une mécanique du jeu et la réalité biologique et donc estiment avoir réalisé des apprentissages en lien avec la biologie ou l'écologie. Ce résultat traduirait également le taux d'engagement élevé des apprenants pour ce type de pratiques leur permettant de s'investir plus dans leur processus d'apprentissage (Houssaye, 1995; Anastasiadis et al., 2018).

L'hypothèse H₃ semble être validée, mais l'ensemble des joueurs-apprenants ne désignent pas les mêmes mécaniques et donc les mêmes liens à la réalité. L'ensemble des mécaniques de *Microcosme*, sont à mettre en parallèle des caractéristiques du jeu didactique. Ici, les pouvoirs des espèces, leurs caractéristiques et avantages écologiques font partie intégrante de la trame narrative du jeu (Gagnon & Karsenti, 2016) et permettent l'apprentissage par le jeu (Schaeffer, 1999).

4. H₄ : Satisfaction des joueurs-apprenants

L'utilisation d'un dispositif ludique semble stimulante dans le cadre de l'apprentissage en biologie sur la thématique de la diversité et des impacts des espèces exotiques. En effet, 94 % des joueurs-apprenants estiment que *Microcosme* est à minima satisfaisant. De plus, Q13 recueille une grande quantité de commentaires positifs (4 plus grandes occurrences) stipulant que le jeu est amusant et qu'il permet d'apprendre autrement et de changer de l'apprentissage plus traditionnel.

Les observations réalisées *in situ* sont concordantes : les participants avaient l'air enthousiastes, et le retour oral très positif. En parallèle de ces chiffres, le retour plus précis des joueurs-apprenants sur le dispositif didactique *Microcosme* a été accueilli avec beaucoup de plaisir et d'amusement. Précisons que la question Q13 n'a recueilli qu'un total de 10 commentaires mitigés ou négatifs pour un total de 127 participants, soit 8 %. Les réponses restées vierges ne peuvent être classées ni en « positivement » ni « négativement ». Ainsi, 9 joueurs participants sur 10 commentent de manière positive et soulignent en priorité le fait qu'apprendre autrement change des habitudes et est amusant, transcrivant un engagement significatif dans la tâche proposée.

Ces résultats sont concordants avec la littérature qui indique que les élèves sont satisfaits d'activité plus ludique, percevant les méthodes classiques comme « ennuyeuses » et qu'ils s'investissent plus si la motivation est plus grande (Viau & Bouchard, 2000; Rutten et al., 2012; Surendeleg et al., 2014; Anastasiadis et al., 2018; Riopel et al., 2019) ce qui pourrait

potentiellement augmenter le niveau de motivation de la classe (Faddegon, 2005) pour ce type de pratique d'enseignement.

Les résultats valident l'hypothèse 4 selon laquelle *Microcosme* apporte de la satisfaction dans l'apprentissage d'un concept biologique complexe.

5. Interprétations hors hypothèses

Il est très important de mentionner que même si le jeu ici semble faciliter l'apprentissage, 12,5 % des joueurs-apprenants ayant complété la Q13 expriment le fait que cela serait utile en complément d'un cours théorique afin de mieux comprendre ce qu'est censé montrer le jeu. Cette affirmation résonne parfaitement avec l'analyse globale des résultats. La majorité des élèves n'ayant pas relevé la caractéristique exotique, et ayant classé la renouée du Japon à part des berces du Caucase et balsamine de l'Himalaya. La thématique étant complexe, l'émergence du concept d'espèces exotiques envahissantes n'est pas complète auprès des élèves. *Microcosme*, à l'instar de ce qui est montré par la littérature dans l'intérêt de l'utilisation, dispositif ludique dans l'enseignement, pourrait donc être un outil afin d'intéresser et introduire les élèves à des concepts complexes, mais ne peut se substituer à un cours dispensé par l'enseignant (Brassier & Ralet, 2021). L'intégration du jeu comme complément d'un cours plus théorique semble être une bonne piste d'intégration d'un dispositif comme *Microcosme*, traitant de sujets biologiques complexes. Cependant, il est utile de questionner la pertinence de multiplier les canaux de transmission de savoirs pour une thématique si précise sachant que le programme de secondaire ne prévoit pas de nombreuses heures pour le thème des EEE (FESeC, 2017a).

Concernant les remarques effectuées à la Q14, le commentaire « *Les espèces ne sont pas équilibrées* », relevé chez 14 élèves, bien que parfaitement compréhensible d'un point de vue ludique, est en conflit avec le design même du jeu. Ce dernier ayant été conceptualisé pour montrer la différence dans la dynamique de développement des espèces exotiques envahissantes et leur facilité à s'implanter dans un écosystème.

B. Limites de l'étude

1. Limites identifiées par les observations effectuées lors des tests réalisés dans les classes

La première observation réalisée dans les classes est relative à la capacité de l'animateur, dans notre cas également observateur, de pouvoir gérer la séance avec une limite de temps. Une grande partie des groupes jeux ont réussi à jouer 5 tours lors de la période de 50 minutes. Bien entendu, les groupes jeux de plus grande taille (6 ou 7) avaient généralement un peu plus de mal à terminer dans le temps. L'ouverture de la séance avait idéalement été pensée pour durer 5 min afin d'accueillir les joueurs-apprenants en classe et de disposer le matériel. D'un point de vue observateur, la plus grande perte de temps réside dans cette période. De plus, le questionnaire est relativement long à remplir. Cette observation pourrait expliquer que les dernières questions aient un taux d'abstention plus élevé que les premières. Enfin, il est également pertinent de prendre en considération que les questions Q1 à Q10 sont présentes sur la première feuille du questionnaire (recto verso) et que les Q11-14 et Q15 sur d'autres. Ce fait pourrait également causer la diminution du taux de participation des dernières questions.

Les interactions entre joueurs sont inhérentes au support ludique. Nous pouvons raisonnablement penser que celles-ci peuvent influencer les résultats finaux d'une partie et il est important de les identifier afin de garantir le bon maintien de la partie (Hoffman & Nadelson, 2009). Cette observation est soutenue par quelques commentaires de participants sur la limite de la simulation (Q11) et a été observée directement par l'observateur : l'alliance des joueurs peut être un frein à la fidélité de la simulation.

2. Limites du dispositif

Concernant la taille des groupes-jeu, l'idéal est de 5 élèves, une équipe de 6 risque de prendre plus de temps pour venir à bout des 5 tours de jeu et 4 joueurs risquent d'avoir moins d'interaction entre les joueurs-apprenants.

Le jeu n'est pas fidèle à la réalité. L'impact de l'homme a été réduit au minimum avec le retrait des cartes événements, la dissémination par la boussole a été supprimée, le nombre d'espèces jouables réduit et les espèces présentes au préalable sur la zone de jeu, supprimées. Comme mentionné en II.B.1, ces simplifications ont pour origine les tests réalisés avant le début de

l'expérimentation en classe afin de pouvoir faire tenir la totalité de la séance en 50 minutes. Cela a été effectivement utile dans les conditions dans lesquelles l'expérience a été menée, à savoir, une seule période de 50 minutes.

Concernant les limites conceptuelles, ces dernières sont principalement liées au développement du dispositif ludique et des choix qui ont dû être faits afin que la séance puisse se tenir dans une période de cours, à savoir 50 min. *Microcosme* présente des limites inhérentes à sa création ludique. Malgré son objectif pédagogique, il est important de reconnaître que, en raison de contraintes telles que la jouabilité (facilité de prise en main nécessaire), les limitations de temps et de complexité, il est impossible de reproduire, le plus fidèlement possible, la complexité du monde réel au sein du jeu. Ainsi, des choix ont dû être effectués pour maintenir les éléments essentiels à la compréhension des joueurs-apprenants, tout en évitant une complexification excessive qui pourrait entraîner de la frustration ou des contraintes temporelles, par exemple, l'activité des animaux n'est pas représentée. Il est important de prendre en compte la balance coût-bénéfice lors du développement d'un dispositif ludique (Domínguez et al., 2013).

3. Limites et biais des données recueillies

Plusieurs biais potentiels sont à prendre en compte dans les réponses des élèves et dans l'analyse de celles-ci. Tout d'abord, les biais liés à la compréhension des questions : les élèves peuvent interpréter différemment les questions formulées dans le questionnaire, ce qui pourrait conduire à des réponses très variées, voire à des réponses difficilement analysables.

Ensuite, le biais de validation sociale : les élèves pourraient être enclins à donner des réponses socialement acceptables ou celles qu'ils pensent que le chercheur souhaite entendre (dans notre cas, lire) plutôt que leurs véritables opinions (Desponds, 2011; Papuchon, 2018). Nous pouvons penser particulièrement aux Q3 (Satisfaction des joueurs), et Q8 (Équilibrage du jeu), reposant sur des échelles de Likert. Répondre que le jeu est très satisfaisant est socialement plus acceptable que de ne signaler n'y avoir pris aucun plaisir (Papuchon, 2018). Aussi, l'élève peut estimer que de répondre que le jeu est « très équilibré » pourrait être perçu par l'observateur comme une validation du dispositif à savoir qu'il est « au point ». Les questions Q11, Q12, Q13 pourraient également être soumises à ce biais, et pouvant être interprétées par le joueur-apprenant comme des questions centrées sur la « qualité » du support. Les questionnaires étant anonymes, nous ne

pouvons, en l'état, pas affirmer ou infirmer que ce biais est bel et bien présent dans notre étude. Certains estiment que la désirabilité sociale est toujours présente malgré l'anonymat des questionnaires (Wagle et al., 2020) tandis que d'autres estiment que ce biais diminue fortement dans ces conditions (Hadler et al., 2022).

C. Perspectives

Premièrement, nous pourrions adapter le dispositif. Plusieurs remarques ont été émises par les élèves. La remarque la plus fréquemment formulée provient du plateau de jeu. Il est possible d'améliorer le plateau en le rendant plus grand, ou en changeant l'illustration des cases afin qu'elles soient plus compréhensibles. Une description des cases a été présentée dans la vidéo ainsi qu'au verso de la fiche de rappel d'un tour de jeu (Annexe C). Nous pourrions cependant prévoir une légende intégrée au plateau. Les deux remarques suivantes les plus fréquentes sont la difficulté des règles ainsi que le temps de jeu. Ces deux points sont difficilement améliorables dans les conditions d'une période d'une cinquantaine de minutes. Il est possible de demander aux élèves à l'avance de regarder la vidéo avec l'incertitude que les joueurs-apprenants l'auront bel et bien visionnée préalablement, au risque d'avoir beaucoup de questions pendant le jeu.

Cependant, le chapitre III.A (Taux de complétion des questionnaires) semblent indiquer que les joueurs n'ont pas le temps de répondre à toutes les questions. Il pourrait être fait l'impasse sur certaines d'entre-elles afin de s'assurer d'un taux de complétion maximal en le limitant à une face recto-verso. Les questions qui, à posteriori, nous semblent un peu moins primordiales sont les Q4, Q9 et Q11, questionnant respectivement : le rôle des cases du plateau (Q4), si certaines espèces ont plus de facilité que d'autres pour conquérir de nouvelles zones (Q9) et si le jeu représente parfaitement la réalité (Q11). Ces trois questions ouvertes pourraient être supprimées sans changer vraisemblablement les questions relatives aux espèces exotiques envahissantes. Le cas de la Q9 est qu'elle pourrait être fusionnée à la Q10 « *Quelles sont les caractéristiques des espèces les plus compétitives ?* » en reformulant les propos. Les autres questions nous semblent importantes dans le cadre de l'étude, notamment celles traitant de la satisfaction. Il est néanmoins envisageable de rendre ces questions de satisfaction optionnelles en demandant aux élèves qui le souhaitent d'y répondre ultérieurement, par internet par exemple. Il est aussi envisageable de diminuer le nombre de questions ouvertes pour des questions à choix multiples (QCM). Ce type de questionnaire aurait l'avantage de mieux guider les joueurs-apprenants dans leur réflexion, ce qui pourrait augmenter

la proportion de participants qui arriveraient à faire émerger le concept « d'espèce exotique envahissante ».

Les pouvoirs des espèces jouables pourraient être rendus plus manichéens (exotiques envahissants contre indigènes) en ne donnant que des désavantages aux espèces indigènes, ce qui écarterait encore un peu la simulation ludique *Microcosme* de la réalité, les espèces indigènes étant, par sélection naturelle, adaptées à leur milieu (Cheptou, 2020). De plus, la caractéristique « exotique » pourrait être mise en valeur, voire directement mentionnée sur la carte en plus du nom.

Deuxièmement, il est tout à fait envisageable de repenser le jeu pour une double période, répartie sur 2x50 minutes. Il serait alors possible de complexifier le modèle proposé par *Microcosme* afin qu'il soit plus fidèle à la réalité. Comme l'étaient les versions précédentes du jeu (action de l'homme avec des cartes-action, plus de tours jouables, ajouter des espèces indigènes préalablement disposées sur le plateau, inclure les espèces animales, etc.).

Troisièmement, il est imaginable d'inclure le jeu plus tard dans l'année, après que la matière théorique ait été abordée. Sur base des connaissances des élèves acquises, le jeu *Microcosme* deviendrait un support kinesthésique et visuel au cours théorique. Les joueurs-apprenants pourraient identifier les espèces exotiques envahissantes. Cependant, le dispositif ne tenterait plus de faire émerger le concept, mais seulement de transférer les connaissances dans une simulation afin de permettre à l'apprenant d'évaluer son apprentissage. Cette dernière possibilité nous semble cependant à exclure, car cela engagerait un aménagement du temps considérable. De plus, cette adaptation passerait totalement à côté des objectifs visés par la ludification de cette thématique (émergence de concept, augmentation du taux d'engagement et de la motivation, expérimentation et échange constructiviste entre élèves).

Nous sommes convaincus, au vu des résultats obtenus, que *Microcosme* est un outil adapté pour réaliser une transposition didactique des savoirs scientifiques actuels en apprentissages dans le cadre des espèces exotiques envahissantes et ce, que ce soit en guise de contextualisation, de décontextualisation ou même de recontextualisation du chapitre. Dans tous les cadres de la valse à trois temps par exemple, il pourrait être intéressant d'étudier le moment où ce type d'activité sera le plus utile.

D. Phase post-jeu optionnel

Dans certaines classes, une deuxième période a été organisée, hors du contexte de l'étude, afin de pouvoir débriefer l'activité que les joueurs-apprenants venaient d'éprouver. Cette deuxième période s'articulait autour d'une présentation et d'échanges de questions-réponses concernant les EEE présentes en Wallonie et des critères constitutifs d'une EEE et n'a eu aucun impact sur les résultats obtenus. Les joueurs-apprenants ont été enthousiastes et ont posé de nombreuses questions sur les EEE ainsi que leur gestion au sein de la région. Ces moments d'échanges ont permis de fixer les apprentissages relatifs à l'expérience ludique et semblent indiquer que *Microcosme* doit être accompagné d'un débriefing afin de proposer un temps pour l'institutionnalisation des savoirs nouvellement acquis (E. Sanchez & Plumettaz-Sieber, 2019; Plumettaz-Sieber, 2024).

V. Conclusion

La question de recherche qui a servi de fil conducteur à ce mémoire a été : « *Le jeu de société peut-il être un support didactique pour simuler la dynamique des EEE et permettre de faire émerger des apprentissages relatifs à cette problématique ?* »

Afin de pouvoir répondre à cette question, nous avons dû confronter une des 4 hypothèses aux données recueillies à la suite des tests du dispositif *Microcosme* avec des joueurs-apprenants de 3^e degré des humanités. Il en résulte que les joueurs-apprenants sont capables de différencier les EEE des espèces indigènes représentées dans *Microcosme* mais que le design du jeu semble influencer les participants en classant les EEE jouables en deux groupes, en séparant la renouée du Japon des autres (H₁ est validée, mais nuancée).

Les joueurs-apprenants, à la suite du jeu, sont capables de décrire la caractéristique envahissante au moyen de synonymes, mais la caractéristique « exotique » n'a pas clairement été identifiée. En cela, il convient de considérer qu'il n'a pas été démontré que *Microcosme* était capable de faire émerger intégralement le concept biologique complexe « espèce exotique envahissante » sans complément théorique (H₂ est rejetée, partiellement).

Les mécaniques du jeu sont comprises par les joueurs-apprenants et ces derniers arrivent à faire le parallèle avec la réalité biologique modélisée par le dispositif *Microcosme* et ceux-ci estiment avoir réalisé des apprentissages (H₃ est validée).

Microcosme a été grandement apprécié au sein des classes accueillantes. Les commentaires traduisent la satisfaction générale de l'activité qui semble être soulignée par son avantage de proposer un contraste avec les cours plus traditionnels (H₄ est validée).

En conclusion, nous n'avons pas permis de prouver que le jeu est un support permettant de faire émerger complètement un concept aussi complexe que celui « d'espèce exotique envahissante ». Cependant, le dispositif ludique est capable de transmettre des savoirs liés à cette thématique comme leur détection par leur capacité d'envahissement. Des apprentissages ont été réalisés et reconnus par les élèves dans leur réflexion métacognitive lors des questionnaires, et le taux d'engagement et de satisfaction est très élevé. Nous terminerons par le fait que le jeu *Microcosme* est un outil adapté à la transmission et à l'émergence de savoirs relatifs à la thématique des espèces exotiques envahissantes tout en engageant les apprenants dans un processus actif et motivant d'apprentissage, mais que celui-ci doit être encore perfectionné afin de faire saillir un peu plus la caractéristique exotique.

VI. Liste des figures

Figure 1 : Plateau de jeu et cases correspondantes.....	23
Figure 2 : À gauche : face recto de la carte espèce "Renouée du Japon" ; à droite : sa face verso coloré.....	24
Figure 3 : Jetons de Microcosme.....	24
Figure 4 : Évolution du taux de participation des élèves aux différentes questions présentes dans le questionnaire (pour un total de 200 participants).....	30
Figure 5 : Connaissance préalable des espèces jouables par les joueurs-apprenants sur le panel de 200 élèves.....	31
Figure 6 : Répartition des réponses de la Q5 en fonction de la présence ou non de la renouée du Japon lors de la partie jouée.....	32
Figure 7 : Répartition des réponses de la Q5 en fonction de la présence ou non de la berce du Caucase lors de la partie jouée.....	32
Figure 8 : Répartition des réponses de la Q5 en fonction de la présence ou non de la balsamine de l'Himalaya lors de la partie jouée.....	32
Figure 9 : Fréquence des mots-clefs employés pour décrire les catégories d'espèces jouables.....	33
Figure 10 : Équilibrage évalué par les joueurs en fonction de l'espèce jouée lors de leur partie...34	
Figure 11 : Occurrence des mots-clefs utilisés par les joueurs-apprenants pour décrire les espèces qui colonisent le plus facilement.....	35
Figure 12 : Description des joueurs-apprenants concernant les espèces les plus compétitrices du jeu.....	36
Figure 13 : Description des 2 catégories d'espèces. À compléter si la réponse à la Q5 n'était pas « 2 ».....	37
Figure 14 : Origine des 6 types de cases du plateau selon les joueurs-apprenants.....	38
Figure 15 : Explication des joueurs-apprenants concernant les pouvoirs des cartes-espèces.....	39
Figure 16 : Avis des participants concernant la fidélité de la simulation à la réalité.....	40
Figure 17 : Raisons expliquées par les joueurs-apprenants concernant la divergence de la simulation à la réalité (Q11).....	40
Figure 18 : Apprentissages que les joueurs-apprenants estiment avoir réalisés (Q12).....	41
Figure 19 : Satisfaction des joueurs-apprenants après avoir participé au jeu didactique (Q3).....	42
Figure 20 : Remarques formulées par les joueurs-apprenants concernant le dispositif Microcosme (Q14).....	43

VII. Liste des tableaux

Tableau 1 : Résultats au test KHI2 pour chacune des EEE jouables en fonction de la distribution des réponses formulées par les joueurs-apprenants à la Q5.....	33
--	----

VIII. Bibliographie

- Achtman, R. L., Green, C. S., & Bavelier, D. (2008). Video games as a tool to train visual skills. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 26(4,5), 435-446.
- Al-Azawi, R., Al-Faliti, F., & Al-Blushi, M. (2016). Educational Gamification Vs. Game Based Learning : Comparative Study. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 7(4), 131-136. <https://doi.org/10.18178/ijimt.2016.7.4.659>
- Alien Detectives / Scottish Invasive Species Initiative*. (s. d.). Consulté 23 juillet 2024, à l'adresse <https://www.invasivespecies.scot/alien-detectives>
- Alves, F. R. V. (2021). Transposition Didactique (TD) et Transposition Professionnelle (TP) : Une discussion sur la notion de compétence professionnelle du professeur de mathématique. *Revista Diálogo Educacional*, 21(69), 901-921. <https://doi.org/10.7213/1981-416x.21.069.ao05>
- Amato, É. A. (2011). Les utilités du jeu vidéo sérieux : Finalités, discours et mises en corrélation. *Canadian Journal of Learning and Technology / La Revue Canadienne De L'apprentissage Et De La Technologie*, 37(2). <https://doi.org/10.21432/t25c70>
- Amprazis, A., & Papadopoulou, P. (2023). Plant Blindness Intensity Throughout the School and University Years : A Cross-Age Study. *Shaping the Future of Biological Education Research*. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44792-1_10
- Anastasiadis, T., Lampropoulos, G., & Siakas, K. (2018). *Digital Game-based Learning and Serious Games in Education*. 4, 139-144. <https://doi.org/10.31695/IJASRE.2018.33016>
- Barrère, A. (2023). Regarder les pratiques pédagogiques au prisme des finalités de l'école et de l'évolution de la jeunesse. *Éducation et Sociétés*, 50(2), 5-15. <https://doi.org/10.3917/es.050.0005>
- Bavelier, D., Bediou, B., & Green, C. S. (2018). Expertise and generalization : Lessons from action video games. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 20, 169-173. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2018.01.012>
- Bayir, E. (2014). Developing and Playing Chemistry Games To Learn about Elements, Compounds, and the Periodic Table : Elemental Periodica, Compoundica, and Groupica. *Journal of Chemical Education*, 91(4). <https://doi.org/10.1021/ed4002249>
- Bilesanmi-Awoderu, J. B. (2006). Effect of computer-assisted instruction and simulation/games on academic achievement of secondary school student in biology. *Sokoto Educational Review*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.35386/ser.v8i1.417>
- Bossé, J. (2013). « Sciences et Techniques du jeu », une nouvelle formation en Belgique ! *éduquer*, 99, 11-12.
- Bougrain-Dubourg, A. (2012). Comment sensibiliser le grand public pour qu'il intègre la biodiversité dans ses comportements ? *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, N° 68(4), 107-112.
- Brassier, P., & Ralet, P. (2021). La gamification pour apprendre : Perceptions des acteurs et pistes de développement. *@Grh*, N° 39(2). <https://doi.org/10.3917/grh.212.0029>

- Brougère, G. (2012). Le jeu peut-il être sérieux? Revisiter *Jouer/Apprendre* en temps de *serious game*. *Australian Journal of French Studies*, 49(2), 117-129. <https://doi.org/10.3828/AJFS.2012.10>
- Brousseau, G. P. (1988). Les différents rôles du maître. *Bulletin de l'A.M.Q.*. Montréal., 23, 14-24.
- Brown, P. M. J., Roy, D. B., Harrower, C., Dean, H. J., Rorke, S. L., & Roy, H. E. (2018). Spread of a model invasive alien species, the harlequin ladybird *Harmonia axyridis* in Britain and Ireland. *Scientific Data*, 5(1), 180239. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.239>
- Cameron, E. K., Vilà, M., & Cabeza, M. (2016). Global meta-analysis of the impacts of terrestrial invertebrate invaders on species, communities and ecosystems. *Global Ecology and Biogeography*, 25(5), 596-606. <https://doi.org/10.1111/geb.12436>
- Cardozo, L. T., Miranda, A. S., Moura, M. J. C. S., & Marcondes, F. K. (2016). Effect of a puzzle on the process of students' learning about cardiac physiology. *Advances in Physiology Education*, 40(3). <https://doi.org/10.1152/advan.00043.2016>
- Cariou, D., Kervran, M., & Rilhac, P. (2015). Malentendus et dysfonctionnements du jeu didactique à l'école primaire : La notion de « jeu alternatif ». *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, 190, Article 190. <https://doi.org/10.4000/rfp.4704>
- Cheptou, P.-O. (2020). Biodiversité en crise et adaptation. *Annales des Mines - Responsabilité & environnement*, 100(4), 19-22. <https://doi.org/10.3917/re1.100.0019>
- Clément, P., & Caravita, S. (2011). *Education pour le Développement Durable (EDD) et compétences des élèves dans l'enseignement secondaire*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01026073>
- Communauté française Wallonie-Bruxelles. (2019, septembre 1). *Décret définissant les missions prioritaires de l'enseignement fondamental et de l'enseignement secondaire et organisant les structures propres à les atteindre*. https://www.galilex.cfwb.be/document/pdf/21557_052.pdf
- Courtier, P. (2019). *L'impact de la pédagogie Montessori sur le développement cognitif, social et académique des enfants en maternelle* [Psychologie cognitive]. Lyon.
- Crawford, D. B. (1999). Managing the Process of Review : Playing « Baseball » in Class. *Intervention in School and Clinic*, 35(2), 93-95. <https://doi.org/10.1177/105345129903500205>
- D'Antonio, C., & Flory, S. L. (2017). Long-term dynamics and impacts of plant invasions. *Journal of Ecology*, 105(6), 1459-1461. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12879>
- Daoust, G. (1989). L'homme des sciences de l'éducation existe-t-il ? In *Prospectives* (p. 77-83).
- Dargère, V. (2015). Le jeu, une modalité éducative ? Une expérience de la contrainte en situation pédagogique. *Le Sociographe, Hors-série* 8(5), 197-212. <https://doi.org/10.3917/graph.hs08.0197>
- Découvrez les espèces exotiques envahissantes à travers un jeu. (2024, juin 12). *Tela Botanica*. <https://www.tela-botanica.org/2024/06/decouvrez-les-especes-exotiques-envahissantes-a-travers-un-jeu/>
- Dehaene, S. (Réalisateur). (2012, novembre 20). *Les grands principes de l'apprentissage* [Cours filmé]. Collège de France. <https://www.college-de-france.fr/site/stanislas-dehaene/symposium-2012-11-20-10h00.htm>

- Delbart, E., Pieret, N., & Mahy, G. (2010, mars). *Les trois principales plantes exotiques envahissantes le long des berges des cours d'eau et plans d'eau en Région wallonne : Description et conseils de gestions mécanique et chimique*. Service Public de Wallonie.
<https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/67442/1/Guide%20de%20gestionchim01032010.pdf>
- Delnatte, C., Potiron, C. T., & Rateau, F. (2021). Détection précoce et lutte rapide contre la plante aquatique exotique *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle en Martinique. *Naturae*, 5.
<https://doi.org/10.5852/naturae2021a5>
- Delory-Momberger, C. (2006). G. Brougère. Jouer/Apprendre. *L'orientation scolaire et professionnelle*, 35/3, Article 35/3. <https://doi.org/10.4000/osp.1033>
- de Sousa Borges, S., Durelli, V. H. S., Reis, H. M., & Isotani, S. (2014). A systematic mapping on gamification applied to education. *Proceedings of the 29th Annual ACM Symposium on Applied Computing*, 216-222. <https://doi.org/10.1145/2554850.2554956>
- Desponds, F. (2011). *Clairvoyance de l'utilité et de la désirabilité sociales dans les situations d'évaluation* [Université de Lausanne, Faculté des sciences sociales et politiques].
https://serval.unil.ch/notice/serval:BIB_5BC1A37E313F
- Djelil, F., & Sanchez, E. (2023). Game design and didactic transposition of knowledge. The case of progog, a game dedicated to learning object-oriented programming. *Education and Information Technologies*, 28(1), 283-302. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11158-6>
- Domínguez, A., Saenz-de-Navarrete, J., de-Marcos, L., Fernández-Sanz, L., Pagés, C., & Martínez-Herráiz, J.-J. (2013). Gamifying learning experiences : Practical implications and outcomes. *Computers & Education*, 63, 380-392. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.12.020>
- Dompnier, B., & Pansu, P. (2010). La Valeur Sociale des Explications Causales en Contexte Educatif. *Swiss Journal of Psychology*, 69(1), 39-51. <https://doi.org/10.1024/1421-0185/a000005>
- Doublet, P. (2015). *S'émouvoir pour apprendre : Émotion dans l'apprentissage et passage par le jeu* [Mémoire]. École normale supérieur de Cachan.
- Duquesnoy, M., Gilson, G., Lambert, J., & Preat, C. (2019). *La pédagogie du jeu*. Atelier-EDU & asbl PortailEduc.
- Egenfeldt-Nielsen, S. (2006). Overview of research on the educational use of video games. *Nordic Journal of Digital Literacy*, 1(3), 184-214. <https://doi.org/10.18261/ISSN1891-943X-2006-03-03>
- Eilam, E., & Trop, T. (2010). ESD Pedagogy : A Guide for the Perplexed. *The Journal of Environmental Education*, 42(1), 43-64. <https://doi.org/10.1080/00958961003674665>
- Ellstrand, N. C. (2009). Evolution of invasiveness in plants following hybridization. *Biological Invasions*, 11(5), 1089-1091. <https://doi.org/10.1007/s10530-008-9389-9>
- Faddegon, P. (2005). *The Kids Growing Food school gardening program : Agricultural literacy and other educational outcomes*.
- Fennessey, G. M., Livingston, S. A., Edwards, K. J., Kidder, S. J., & Nafziger, A. W. (1974). Simulation, Gaming, and Conventional Instruction in the Teaching of Ecology. *The Journal of Environmental Education*, 5(4), 21-24. <https://doi.org/10.1080/00958964.1974.10801832>

- Ferreira, A. (2014). Jeux sérieux et langue de spécialité : Trois exemples de ludification pour l'apprentissage de l'anglais naval. *Recherche et pratiques pédagogiques en langues de spécialité. Cahiers de l'Apliut, Vol. XXXIII N° 1*, Article Vol. XXXIII N° 1. <https://doi.org/10.4000/apliut.4176>
- FESeC. (2017a, mis à jour 2020). *Programme Science de base du 3ème degré. Humanités générales et technologiques D/2014/7362/3/24*.
- FESeC. (2017b, mars 15). *Brochure « Tableaux synoptiques »*. Secteur Sciences.
- Fontaine, H. (2016). Willing suspension of disbelief (Coleridge) et Secondary belief (Tolkien) : Vers un merveilleux noir ? *Education*.
- Gagnon, R., & Karsenti, T. (2016). Savoirs signifiants, style d'apprentissage et ludification. In *Mieux former les enseignants dans la francophonie : Principaux enjeux actuels et futurs* (p. 97-105). https://www.researchgate.net/profile/Constantin_Petrovici/publication/321034607_livre_rifeff_2016/inks/5a09a5a9aca272ee46215525/livre-rifeff-2016.pdf#page=106
- Garenaux, J. (2013). *La place de l'élève dans le processus d'institutionnalisation des savoirs*. 35.
- Hadler, M., Klösch, B., Reiter-Haas, M., & Lex, E. (2022). Combining Survey and Social Media Data : Respondents' Opinions on COVID-19 Measures and Their Willingness to Provide Their Social Media Account Information. *Frontiers in Sociology, 7*. <https://doi.org/10.3389/fsoc.2022.885784>
- Haubrock, P. J., Turbelin, A. J., Cuthbert, R. N., Novoa, A., Taylor, N. G., Angulo, E., Ballesteros-Mejia, L., Bodey, T. W., Capinha, C., Diagne, C., Essl, F., Golivets, M., Kirichenko, N., Kourantidou, M., Leroy, B., Renault, D., Verbrugge, L., & Courchamp, F. (2021). Economic costs of invasive alien species across Europe. *NeoBiota, 67*, 153-190. <https://doi.org/10.3897/neobiota.67.58196>
- Higgins, E. T. (2006). Value from hedonic experience and engagement. *Psychological Review, 113*(3), 439-460. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.113.3.439>
- Hoffman, B., & Nadelson, L. (2009). Motivational engagement and video gaming : A mixed methods study. *Educational Technology Research and Development, 58*(3), 245-270. <https://doi.org/10.1007/s11423-009-9134-9>
- Houllier, F., & Merilhou-Goudard, J.-B. (2016). *Les sciences participatives en France* (p. 63 p.) [Report]. <https://doi.org/10.15454/1.4606201248693647E12>
- Houssaye, J. (1995). Viau (Rolland). —La motivation en contexte scolaire. *Revue française de pédagogie, 113*(1), 154-155.
- Huxel, G. R. (1999). Rapid displacement of native species by invasive species : Effects of hybridization. *Biological Conservation, 89*(2), 143-152. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(98\)00153-0](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(98)00153-0)
- Institut royal des Sciences naturelles de Belgique. (s. d.). *Le Muséum et les sciences participatives*. Consulté 5 janvier 2021, à l'adresse https://www.naturalsciences.be/fr/museum/citizen_science/8998
- IPBES. (2019). *Communiqué de presse : Le dangereux déclin de la nature : Un taux d'extinction des espèces « sans précédent » et qui s'accélère*. <https://ipbes.net/news/Media-Release-Global-Assessment-Fr>

- Janous, Y. E., & Laafou, M. (2022). Stratégie d'intégration des ressources numériques pour l'enseignement des SVT. *Revue Marocaine de l'Évaluation et de la Recherche Educative*, 7(7), Article 7. <https://doi.org/10.48423/IMIST.PRSM/rmere-v7i7.30507>
- Jose, S., Wu, C.-H., & Kamoun, S. (2019). Overcoming plant blindness in science, education, and society. *Plants, People, Planet*, 1(3). <https://doi.org/10.1002/ppp3.51>
- Justi, R., & Gilbert, J. (2003). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1369-1386. <https://doi.org/10.1080/0950069032000070324>
- Karpicke, J. D., & Roediger, H. L. (2008). The Critical Importance of Retrieval for Learning. *Science*, 319(5865), 966-968. <https://doi.org/10.1126/science.1152408>
- Karsenti, T., & Bugmann, J. (2018). *The Educational Impacts of Minecraft on Elementary School Students (Quels apports éducatifs du jeu vidéo minecraft en éducation? Résultats d'une recherche exploiratoire menée auprès de 118 élèves du primaire)* (SSRN Scholarly Paper ID 3153729). Social Science Research Network. <https://papers.ssrn.com/abstract=3153729>
- Kasbi, Y. (2012). *Les serious games : Une révolution*. Edipro.
- Khadraoui, E., & Messaour, R. (2021). Ludification des apprentissages : Des pratiques de classe à l'intégration dans la formation des enseignants.)2(21, □□□□□□□□, Article 2. <https://doi.org/10.59791/ihy.v21i2.2031>
- Krath, J., Schürmann, L., & von Korfflesch, H. F. O. (2021). Revealing the theoretical basis of gamification : A systematic review and analysis of theory in research on gamification, serious games and game-based learning. *Computers in Human Behavior*, 125, 106963. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.106963>
- Krell, M., & Krüger, D. (2016). Testing Models : A Key Aspect to Promote Teaching Activities Related to Models and Modelling in Biology Lessons? *Journal of Biological Education*, 50(2), 160-173. <https://doi.org/10.1080/00219266.2015.1028570>
- L'Aperté Digital (Réalisateur). (2017, janvier 19). *Qu'est-ce que la gamification ?* (Vol. 1) [Enregistrement vidéo]. L'Aperté Digital. https://www.youtube.com/watch?v=6mY_HnifBkA
- Lawrence, R. (2004). Teaching data structures using competitive games. *IEEE Transactions on Education*, 47(4), 459-466. <https://doi.org/10.1109/TE.2004.825053>
- Lederman, S. J. (1983). Tactual roughness perception : Spatial and temporal determinants. *Canadian Journal of Psychology / Revue canadienne de psychologie*, 37(4), 498-511. <https://doi.org/10.1037/h0080750>
- Lévêque, C., Tabacchi, É., & Menozzi, M.-J. (2012). Les espèces exotiques envahissantes, pour une remise en cause des paradigmes écologiques. *Sciences Eaux Territoires, Numéro 6*(1), 2-9.
- l'œil graphique—Les espèces exotiques envahissantes*. (s. d.). Consulté 23 juillet 2024, à l'adresse <https://oeil-graphique.org/museum-toulon-mallette-pedagogique-aliem>
- Luchi, K. C. G., Cardozo, L. T., & Marcondes, F. K. (2019). Increased learning by using board game on muscular system physiology compared with guided study. *Advances in Physiology Education*, 43(2). <https://doi.org/10.1152/advan.00165.2018>

- Macfarlane, B., & Tomlinson, M. (2017). Critiques of Student Engagement. *Higher Education Policy*, 30(1), 5-21. <https://doi.org/10.1057/s41307-016-0027-3>
- Margulies, J. D., Bullough, L.-A., Hinsley, A., Ingram, D. J., Cowell, C., Goettsch, B., Klitgård, B. B., Lavorgna, A., Sinovas, P., & Phelps, J. (2019). Illegal wildlife trade and the persistence of “plant blindness”. *Plants, People, Planet*, 1(3). <https://doi.org/10.1002/ppp3.10053>
- Marlot, C. (2018). Le processus de double sémiotisation au cœur des stratégies didactiques du professeur. Une étude de cas en découverte du monde vivant au cycle 2. *Swiss Journal of Educational Research*, 36(2). <https://doi.org/10.24452/sjer.36.2.4938>
- Mauz, I., & Granjou, C. (2010). La construction de la biodiversité comme problème politique et scientifique, premiers résultats d’une enquête en cours. *Sciences Eaux Territoires, Numéro 3(3)*, 10-13.
- McGonigal, Ja. (2011). *Reality is broken : Why Games Make Us Better and How They Can Change the World* (The Penguin Press).
- Miralles, L., Moran, P., Dopico, E., & Garcia-Vazquez, E. (2013). DNA Re-EvolutionN : A game for learning molecular genetics and evolution. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 41(6), 396-401. <https://doi.org/10.1002/bmb.20734>
- Moirand, S. (2004). De la médiation à la médiatisation des faits scientifiques et techniques : Où en est l’analyse du discours ? *Sciences, médias et Société*, 75-99.
- Monterrat, B., Lavoue, E., Georges, S., & Desmarais, M. (2017). Les effets d’une ludification adaptative sur l’engagement des apprenants. *Sticef*, 24(1).
- Morel, M., Terasmaa, J., & Jesmin, T. (2022). Is a Board Game Suitable for Teaching Complex Natural Systems? Yes. *European Conference on Games Based Learning*, 16(1), Article 1. <https://doi.org/10.34190/ecgbl.16.1.511>
- Morge, L., & Doly, A.-M. (2013). *L’enseignement de notion de modèle : Quels modèles pour faire comprendre la distinction entre modèle et réalité ?* <https://doi.org/10.3406/spira.2013.1066>
- Muell, M. R., Guillory, W. X., Kellerman, A., Rubio, A. O., Scott-Elliston, A., Morales, O., Eckhoff, K. D., Barfknecht, D. F., Hartsock, J. A., Weber, J. T., & Brown, J. L. (2020). Gaming natural selection : Using board games as simulations to teach evolution. *Evolution*, 74(3). <https://doi.org/10.1111/evo.13924>
- Noel, B. (1997). *La métacognition* (2e éd.). De Boeck Université.
- Pany, P., & Heidinger, C. (2014). Uncovering patterns of interest in useful plants. Frequency analysis of individual students’ interest types as a tool for planning botany teaching units. *Multidisciplinary Journal for Education, Social and Technological Sciences*, 2(1). <https://doi.org/10.4995/muse.2015.2309>
- Papuchon, A. (2018). Ce qu’Alis nous dit de ses amis. L’effet de désirabilité sociale et sa variabilité au prisme de questions portant sur une prestation sociale fictive. *Bulletin of Sociological Methodology/Bulletin de Méthodologie Sociologique*, 137-138(1), 120-139. <https://doi.org/10.1177/0759106318761563>

- Pastré, P. (2002). L'analyse du travail en didactique professionnelle. *Revue française de pédagogie*, 138(1), 9-17. <https://doi.org/10.3406/rfp.2002.2859>
- Pertegal-Felices, M. L., Jimeno-Morenilla, A., Sánchez-Romero, J. L., & Mora-Mora, H. (2020). Comparison of the Effects of the Kahoot Tool on Teacher Training and Computer Engineering Students for Sustainable Education. *Sustainability*, 12(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/su12114778>
- Plumettaz-Sieber, M. (2024). *Institutionnalisation des savoirs informatiques lors du débriefing. Le cas de l'apprentissage avec le jeu Programming Game* [Université de Genève]. <https://doi.org/10.13097/archive-ouverte/unige:175760>
- Portail de la biodiversité Wallonie. (s. d.). *La berce du Caucase | Focus sur quelques espèces | Invasives | La biodiversité en Wallonie*. Consulté 1 juin 2024, à l'adresse <http://biodiversite.wallonie.be/fr/la-berce-du-caucase.html?IDC=5998>
- Portail environnement Wallonie. (s. d.). *Invasions biologiques | Invasives | La biodiversité en Wallonie*. Consulté 26 novembre 2020, à l'adresse <http://biodiversite.wallonie.be/fr/invasions-biologiques.html?IDC=5669>
- Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (1991). Les mécanismes de l'attention et de l'expérimentation consciente. *Revue de Neurologie*, 2, 85-115.
- Privas-Bréauté, V. (2017). Développement cognitif et apprentissage de l'anglais langue des affaires en IUT à travers le jeu : Utilisation des mondes virtuels. *Recherche et pratiques pédagogiques en langues de spécialité. Cahiers de l'Apliu*, Vol.36 N°2, Article Vol.36 N°2. <https://doi.org/10.4000/apliut.5740>
- Puren, C. (2022). *Modélisation, types généraux et types didactiques de modèles en didactique complexe des langues-cultures. Essai*.
- Règlement (UE) n ° 1143/2014 du Parlement européen et du Conseil du 22 octobre 2014 relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes, 317 OJ L (2014). <http://data.europa.eu/eli/reg/2014/1143/oj/fra>
- Reuter, Y., Cohen-Azria, C., Daunay, B., Delcambre, I., & Lahanier-Reuter, D. (2013). Modèle didactique. In *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques: Vol. 3e éd.* (p. 135-138). De Boeck Supérieur. <https://doi.org/10.3917/dbu.reute.2013.01.0135>
- Riopel, M., Nenciovici, L., Potvin, P., Chastenay, P., Charland, P., Sarrasin, J. B., & Masson, S. (2019). Impact of serious games on science learning achievement compared with more conventional instruction : An overview and a meta-analysis. *Studies in Science Education*, 55(2), 169-214. <https://doi.org/10.1080/03057267.2019.1722420>
- Rocheleau, J. (2009). *Les théories cognitivistes de l'apprentissage*. Université de Québec à Trois-Rivières.
- Roediger, H. L., & Karpicke, J. D. (2006). The Power of Testing Memory : Basic Research and Implications for Educational Practice. *Perspectives on Psychological Science*, 1(3). <https://doi.org/10.1111/j.1745-6916.2006.00012.x>
- Rumelhard, G. (1988). *Statut et rôle des modèles dans le travail scientifique et dans l'enseignement de la biologie*. <https://doi.org/10.4267/2042/9215>

- Rutten, N., van Joolingen, W. R., & van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136-153. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>
- Saad, L., Jacquemart, A.-L., Cawoy, V., Vanparys, V., Vervoort, A., Meerts, P., Dassonville, N., Domken, S., & Mahy, G. (2009). Les plantes exotiques envahissantes en Belgique ont-elles des impacts ? *Pars et Réserves*, 64(4), 10-16.
- Sablaylorles, C., Aufray, M., & Huez, J. (2017). Retour d'expérience sur la mise en place d'une activité de jeu de plateau en vue de favoriser la prise de conscience de la pensée cycle de vie pour des élèves-ingénieurs. In C. V. Mainar, J. Simonneaux, J. Huez, D. Bédouret, A. Calvet, R. Chalmeau, M.-P. Julien, J.-Y. Léna, & L. Simonneaux (Éds.), *Changements et Transitions : Enjeux pour les éducations à l'environnement et au développement durable* (p. 163-169). GEODE, EFTS, ENSFEA, ESPE, SFR, AEF. <https://doi.org/10.26147/geode.act.e1fc-b302>
- Salopek, J. J. (1999). Stop playing games. *Training & Development*, 53(2), 28-29.
- Sanchez, É. (2008). Quelles relations entre modélisation et investigation scientifique dans l'enseignement des sciences de la terre? *Éducation Et Didactique*, 2-2. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.314>
- Sanchez, E., & Plumettaz-Sieber, M. (2019). *Teaching and Learning with Escape Games from Debriefing to Institutionalization of Knowledge : 7th International Conference, GALA 2018, Palermo, Italy, December 5-7, 2018, Proceedings* (p. 242-253). https://doi.org/10.1007/978-3-030-11548-7_23
- Santamarina, S., Mateo, R. G., Alfaro-Saiz, E., & Acedo, C. (2023). On the importance of invasive species niche dynamics in plant conservation management at large and local scale. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.1049142>
- Sardone, N. B., & Devlin-Scherer, R. (2016). Let the (Board) Games Begin : Creative Ways to Enhance Teaching and Learning. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, 89(6), 215-222. <https://doi.org/10.1080/00098655.2016.1214473>
- Sauvé, L., Renaud, L., & Gauvin, M. (2007). Une analyse des écrits sur les impacts du jeu sur l'apprentissage. *Revue des sciences de l'éducation*, 33(1), 89-107. <https://doi.org/10.7202/016190ar>
- Schaeffer, J.-M. (1999). *Pourquoi la fiction ?*
- Schnitzler, A., & Muller, S. (1998). Écologie et biogéographie de plantes hautement invasives en Europe : Les renouées géantes du Japon (*Fallopia japonica* et *F. sachalinensis*). *Revue d'Écologie*, 53(1), 3-38.
- Shaftel, J., Pass, L., & Schnabel, S. (2005). Math Games for Adolescents. *TEACHING Exceptional Children*, 37(3), 25-30. <https://doi.org/10.1177/004005990503700304>
- Sheldon, L. (2020). *The Multiplayer Classroom : Designing Coursework as a Game* (2^e éd.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429285035>
- Sheppard, A., Shaw, R., & Sforza, R. (2006). Top 20 environmental weeds for classical biological control in Europe : A review of opportunities, regulations and other barriers to adoption. *Weed Research*, 46(2). <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2006.00497.x>

- Simons, D. J., & Chabris, C. F. (1999). Gorillas in Our Midst : Sustained Inattentive Blindness for Dynamic Events. *Perception*, 28(9), 1059-1074. <https://doi.org/10.1068/p281059>
- Simons, D. J., & Jensen, M. S. (2009). The effects of individual differences and task difficulty on inattentive blindness. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(2), 398-403. <https://doi.org/10.3758/PBR.16.2.398>
- Skukan, R., Borrell, Y. J., Ordás, J. M. R., & Miralles, L. (2020). Find invasive seaweed : An outdoor game to engage children in science activities that detect marine biological invasion. *The Journal of Environmental Education*, 51(5), 335-346. <https://doi.org/10.1080/00958964.2019.1688226>
- SPW. (2024, juillet 9). *Stop aux espèces exotiques envahissantes*. Stop aux espèces exotiques envahissantes. <https://stopenvahissantes.be/cms/render/live/fr/sites/eee/home.html>
- Surendeleg, G., Murwa, V., Yun, H.-K., & Kim, Y. S. (2014). The role of gamification in education—a literature review. *Contemporary Engineering Sciences*, 7, 1609-1616. <https://doi.org/10.12988/ces.2014.411217>
- Thomas, H., Ougham, H. J., & Sanders, D. (2021). Plant blindness and sustainability. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 23(1). <https://doi.org/10.1108/ijshe-09-2020-0335>
- Torres-Porras, J., Ramos-Miras, J. J., & Alcántara-Manzanares, J. (2024). The plant blindness and the humans-as-non-animals bias cycles in the educational system. The need to overcome them. *Journal of Biological Education*, 0(0), 1-12. <https://doi.org/10.1080/00219266.2024.2365668>
- Valk, T., Driel, J., & Vos, W. (2007). Common Characteristics of Models in Present-day Scientific Practice. *Research in Science Education*, 37, 469-488. <https://doi.org/10.1007/s11165-006-9036-3>
- Van Der Maren, J.-M. (1996). *Méthodes de recherches pour l'éducation—2ème édition* (Presses de l'Université de Montréal). De Boeck & Larcier.
- Van Driel, J. H., & Verloop, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1255-1272. <https://doi.org/10.1080/09500690210126711>
- Vanderhoeven, S., Branquart, E., Grégoire, J.-C., & Mahy, G. (2006). *Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement wallon* (p. 30-31). Région wallonne.
- Vanparys, V. (2009). *Ecology of an invasive plant, Senecio inaequidens : Interactions with pollinators, herbivores and soil fauna*. Université catholique de Louvain.
- Vervoort, A., & Jacquemart, A.-L. (2012). Habitat overlap of the invasive Impatiens parviflora DC with its native congener I. noli-tangere L. *Phytocoenologia*, 42(3-4), 249-257. <https://doi.org/10.1127/0340-269X/2012/0042-0496>
- Viau, R., & Bouchard, J. (2000). Validation d'un modèle de dynamique motivationnelle auprès d'élèves du secondaire. *Canadian Journal of Education / Revue canadienne de l'éducation*, 25(1), 16-26. <https://doi.org/10.2307/1585865>





- Wagle, R., Dowdy, E., Furlong, M. J., Nylund-Gibson, K., Carter, D., & Hinton, T. (2020). Anonymous Versus Self-Identified Response Formats for School Mental Health Screening. *Assessment for Effective Intervention*, 47(2). <https://doi.org/10.1177/1534508420959439>
- Wallonie-Bruxelles Enseignement. (2019). *Programme d'études provisoire : Sciences Générales. 482P/2018/240. Enseignement secondaires ordinaires. Humanités générales et technologiques, 3e degré*. Administration générale de l'enseignement de la Fédération Wallonie-Bruxelles.
- Wandersee, J. H., & Schussler, E. E. (1999). Preventing Plant Blindness. *The American Biology Teacher*, 61(2), 82-86. <https://doi.org/10.2307/4450624>
- Wilcove, D. S., Rothstein, D., Dubow, J., Phillips, A., & Losos, E. (1998). Quantifying Threats to Imperiled Species in the United States : Assessing the relative importance of habitat destruction, alien species, pollution, overexploitation, and disease. *BioScience*, 48(8), 607-615. <https://doi.org/10.2307/1313420>
- Woo, Y., & Reeves, T. C. (2007). Meaningful interaction in web-based learning : A social constructivist interpretation. *The Internet and Higher Education*, 10(1), 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2006.10.005>
- Wouters, P., van Nimwegen, C., van Oostendorp, H., & van der Spek, E. D. (2013). A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. *Journal of Educational Psychology*, 105(2), 249-265. <https://doi.org/10.1037/a0031311>
- XperiBIRD. (s. d.). *XperiBIRD*. xperibird.be. Consulté 5 janvier 2021, à l'adresse <http://xperibird.be/fr/accueil>

IX. Annexes

A. Plateau de jeu



B. Cartes espèces

<p>Renouée du Japon 6 pions</p> <ul style="list-style-type: none">❖ Cette espèce doit commencer sur une zone « Route » ou « Berge »❖ Si la zone où se trouve la renouée est conquise par un adversaire, un jeton de Renouée du Japon reste sur la case. <p>Début de floraison : Septembre</p> 	<p>J'ai la possibilité de me multiplier végétativement et ce, de manière importante.</p> <p>C'est-à-dire qu'un seul pied permet de former une grosse colonie de clones. Avec un seul fragment, je peux me redévelopper beaucoup plus loin. J'aime particulièrement les routes.</p> <p>Je suis comestible et possède un gout similaire à la rhubarbe. On peut se nourrir de mes jeunes pousses printanières et me préparer en tarte.</p>
<p>Berce du Caucase 6 pions</p> <ul style="list-style-type: none">❖ Cette espèce doit commencer sur une zone « Route » ou « Berge »❖ A la fin du tour, le joueur obtient un pion supplémentaire par zone « Route » où la Berce du Caucase est présente. <p>Début de floraison : Aout</p> 	<p>Je peux atteindre jusqu'à quatre mètres et fait de l'ombrage aux autres espèces, ce qui les empêche de se développer.</p> <p>Je suis mellifère c'est-à-dire que mon nectar attire beaucoup les insectes comme les abeilles.</p> <p>Attention ! Quand on me touche je peux provoquer de graves brûlures sur la peau</p>
<p>Balsamine de l'Himalaya 6 pions</p> <ul style="list-style-type: none">❖ Cette espèce doit commencer sur une zone « Route » ou « Berge ».❖ À la fin du tour le joueur reçoit un pion supplémentaire par zone « Rivière » où la Balsamine de l'Himalaya est présente. <p>Début de floraison : Juillet</p> 	<p>Mes fleurs peuvent être de couleur roses, blanches ou même tachetées.</p> <p>Je me retrouve principalement près des cours d'eau car mes graines sont transportées par le courant.</p> <p>Je me développe en colonie dense et on peut me retrouver dans les zones humides ouvertes mais également dans les zones plus fermées. Tant qu'il y a de l'humidité, je me porte bien</p>
<p>Ail des ours 6 pions</p> <ul style="list-style-type: none">❖ Cette espèce peut commencer n'importe où.❖ Le joueur peut coloniser les zones « Lisières » avec un pion de moins si la zone est déjà occupée. <p>Début de floraison : Avril</p> 	<p>Je suis une plante de sous-bois et suis utilisée par l'Homme depuis très longtemps comme une plante médicinale (antiseptique).</p> <p>Je produis de petites fleurs blanches et on dit de moi que je suis une plante sociale. Cela signifie que suis capable de former des peuplements denses d'individus différents.</p>

Ortie dioïque

6 pions

- ❖ Cette espèce peut commencer n'importe où.
- ❖ Le joueur peut coloniser les zones « Berges de rivière » avec un pion de moins que nécessaire si la zone est déjà occupée.



Début de floraison : Juin

Je suis présente dans toutes les régions tempérées du monde.

On dit que je suis une espèce nitrophile, ce qui signifie que je me plais dans les sols enrichis en azote par les activités humaines.

Je suis urticant au toucher mais si vous savez me caresser dans le sens du poil alors, il est possible de faire de la bonne soupe avec mes feuilles.

Coquelicot

6 pions

- ❖ Cette espèce peut commencer n'importe où sauf en forêt.
- ❖ Le joueur ne peut pas conquérir les zones « Forêts ».



Début de floraison : Mars

Mes fleurs possèdent une jolie couleur rouge. Je me développe facilement dans les sols fraîchement remué comme les champs et les abords de route.

J'ai failli disparaître à cause des nouvelles pratiques de l'agriculture.

Je suis une espèce appelée pionnière et héliophile, c'est-à-dire que j'aime les espaces avec peu de concurrence et être bien exposé au soleil.

Plantain lancéolé

6 pions

- ❖ Cette espèce peut commencer n'importe où.
- ❖ Le joueur peut coloniser les zones 'Villages' avec un pion de moins que nécessaire si la zone est déjà occupée.



Début de floraison : Mai

Souvent considéré comme une mauvaise herbe car je suis capable de pousser entre deux dalles de trottoir, je reste tout de même utile à la science car mon pollen sert à dater des périodes où l'humain était déjà présent.

On parle alors de « Palynologie » : l'étude des pollens

Cependant ce même pollen est à l'origine de nombreuses allergies comme le "rhume des foins" entre mai et juillet. Atchoum !

Lierre terrestre

6 pions

- ❖ En fin de tour, le joueur reçoit, en plus, un pion par paire de zone village où le lierre est présent.



(ex : si le Lierre est présent sur 7 zones village il n'en reçoit que 3)

Début de floraison : Février

Je me propage végétativement par ses stolons, sorte de tiges rampantes. Je suis également capable de grimper sur toute sorte de surface ou sur des arbres.

Cependant, je ne suis pas une plante parasite.

Attention mes feuilles sont toxiques pour beaucoup de mammifères.

C. Fiche des règles (recto et verso)

Microcosme : Rappel des règles

Début de la partie

Chaque joueur choisit une carte en fonction de la description qui lui plait le plus.

Le joueur prend le sachet de pions correspondant à sa couleur. Ensuite, prenez le temps de lire les caractéristiques de votre espèce. Présentez brièvement votre pouvoir aux autres joueurs.

Prenez en main le nombre de pions qu'il est indiqué. Un tour de jeu correspond à une année. Les joueurs doivent jouer chacun leur tour en fonction de l'ordre du début de la floraison prendre une tuile en fonction de l'ordre de jeu.

Premier tour

1. Phase dissémination :

Tout en respectant son ordre de passage chaque joueur colonise les espaces. Pour coloniser une zone, il faut moins deux jeton. Si d'autres pions sont déjà présents, il faudra en mettre un en plus que le nombre de pions déjà présents.

Une conquête ne peut se réaliser que sur une zone adjacente. La première conquête a lieu sur un zone en bord de plateau

2. Phase dormance :

Chaque joueur reprend ses jetons plantes sauf un jeton qui laisse sur chaque espace colonisé et note le nombre de territoires occupés.

Les autres tours

1. Phase dissémination :

Tout en respectant l'ordre de jeu (début de la floraison), le joueur prend autant de jetons plantes que le nombre de territoire sur lesquels son espèce est présente (plus éventuel pouvoir). Ensuite, il colonise les espaces.

2. Phase dormance :

Tous les joueurs reprennent ses jetons plantes sauf un jeton plante qui reste sur les espaces colonisés.

Le jeu se termine au bout de 5 tours ou 30 minutes de jeu

Décompte des points

A la fin de chaque tour de jeu, les joueurs comptent le nombre de cases qu'ils contrôlent avec leur espèce. Chaque case correspond à 1 point. Un classement par espèce est réalisé à la fin du jeu en fonction du nombre total de points.

Type de case



Forêt



Rivière



Lisière



Village



Route



Prairie

D. Questionnaire post-jeu vierge (4 pages)

Ecole :

Table :

Questionnaire Microcosme

Ce questionnaire sera suivi d'une question unique, afin de pouvoir relier cette dernière question, notez :

- a) La première lettre du prénom de votre mère :
- b) La première lettre du prénom de votre père :
- c) La première lettre de votre ville/village :
- d) Les deux derniers chiffres de votre numéro de GSM :

1) Avec quelle espèce avez-vous joué ? Quelle espèce a gagné ?

2) Connaissiez-vous certaines de ces espèces avant d'avoir joué au jeu ? Lesquelles ?

3) Etes-vous satisfait de votre partie de jeu ?

Pas du tout satisfait

Peu satisfait

Assez satisfait

Très satisfait

4) Voici une partie du plateau de jeu sur lequel vous venez de jouer :



Selon vous, pourquoi le plateau est-il divisé en cases de différents types ? Quel est le rapport avec les différentes espèces jouables ? (3 lignes max)

5) S'il fallait tenter de classer les espèces avec lesquelles vous avez joué vous et vos adversaires, combien de catégorie utiliseriez-vous?

1

2

3

4

5

Ecole :

Table :

- 6) En fonction de votre réponse à la Question 5, donnez un nom pour chaque catégorie d'espèces que vous avez identifié.

- 7) Voici deux des cartes-espèces disponibles en jeu :

Selon vous, pourquoi chaque espèce de plante possède des pouvoirs/avantages (en jaune ci-dessus) qui diffèrent des autres ?



- 8) Trouvez-vous que le jeu était équilibré ? C'est à dire que toutes les espèces avaient les mêmes chances de gagner.

Pas du tout équilibré Peu équilibré Assez équilibré Très équilibré

- 9) Estimez-vous que certaines espèces aient plus de facilité pour conquérir de nouvelles zones ?
Expliciter en 4 lignes maximum

- 10) Quelles sont les caractéristiques communes aux espèces les plus compétitives ?
(La couleur de la fleur ou de ses pions ne constitue pas une réponse valable)

Ecole :

Table :

11) Peut-on considérer que ce jeu représente parfaitement la réalité ? Expliquez avec vos mots quelles seraient les divergences entre cette "simulation" et ce qu'il se passe réellement dans la nature

12) Estimez-vous que ce jeu vous ait permis de réaliser des apprentissages ? Explicitez en 4 lignes maximum.

13) Quel est votre ressenti face à l'utilisation de dispositif de jeu dans le cadre de l'apprentissage à l'école ?

14) Si vous avez des remarques sur le dispositif de jeu que vous venez de tester, n'hésitez pas à les lister ci-dessous.

Ecole :

Table :

Questionnaire Microcosme

Question supplémentaire

Voici la dernière question complémentaire, veuillez noter :

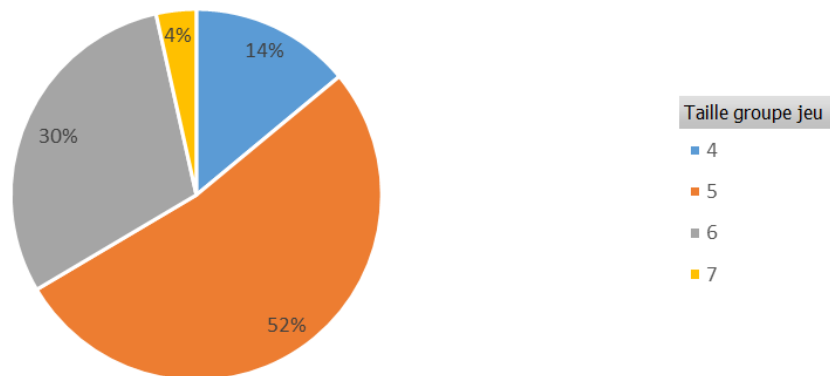
- a) La première lettre du prénom de votre mère :
- b) La première lettre du prénom de votre père :
- c) La première lettre de votre ville/village :
- d) Les deux derniers chiffres de votre numéro de GSM :

15) Il n'y a en réalité que deux catégories d'espèces représentées dans le Jeu Microcosme auquel vous venez de jouer. En connaissant cette information et si vous avez eu une réponse différente de 2, veuillez préciser comment vous nommeriez ces deux catégories et sur quel(s) critère vous basez-vous pour les classer ?

(La couleur de la fleur, ou le nombre de pions jouables ne sont pas des réponses attendues)

E. Description des 40 groupes-jeu

Répartition des joueurs en fonction de la taille de leur groupe-jeu



F. Annexe Q4 : Réponses brutes classifiées en catégorie de réponses

Classes réponse	Étiquettes de lignes	Nb d'élèves
Avantage de colonisation	Avantage colonisation	9
	Colonisation d'espace disponible	2
	Colonisation facilitée	1
	Développement rapide	1
	Envahissante	1
	Limite de colonisation	8
	Propagation	5
Facteurs abiotiques	Besoins	10
	Biotope	1
	Environnement	1
	Généraliste	3
	Humidité	1
	Les endroits où se développent les espèces	1
	Lumière	1
	Milieu défavorable	1
	Reproduction	1
	Spécialisée	2
	Types de sols	11
Lien étroit espèce-habitat	Adaptation	4
	Avantage environnement	4
	Avantage reproduction	1
	Developpement	1
	Habitats	6
	Lien espèce-habitat	97
Ludisme	Jeu	6
	Jeu d'échec	1
	Ludique	1
Non exploitable	Loi du plus fort	1
Réalisme	Biome	7
	Communauté	4
	Différents développements	2
	Ecosysteme	2
	Réalisme	3
Spatialisation sans détail	Endroit	1
	Lieu de vie	21
	Milieu	34

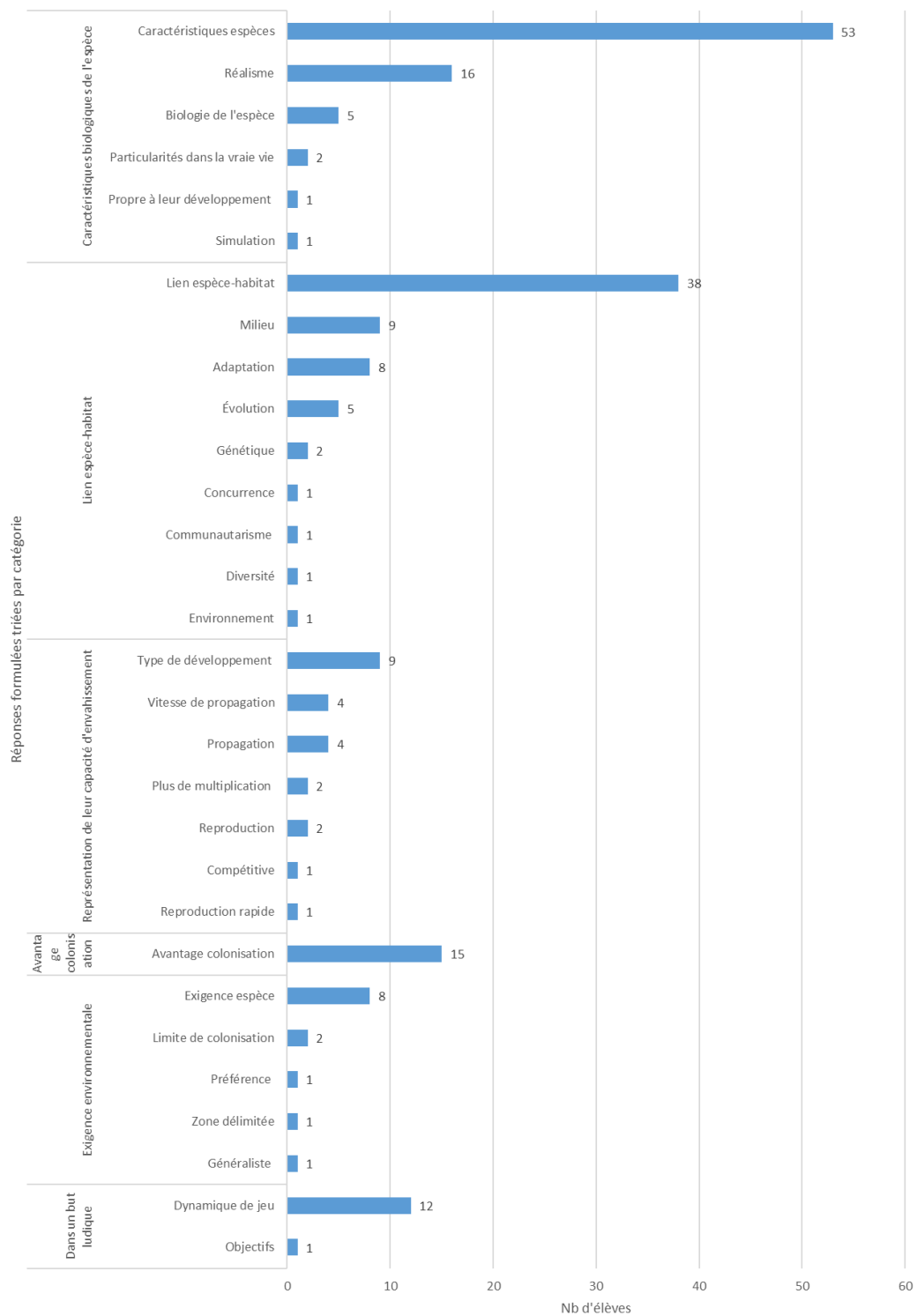
G. Annexe Q6 : Occurrence des termes employés par les élèves

Catégorie de réponse	Mot employé	Nb d'élèves
Non classable	Buissonnante	1
	Coquelicot	2
	Grimpante	1
	Hivernale	1
	Identifie les critères	1
	Lisière	2
	Montagnarde	1
	Pas de différence	2
Assaillante	Active	1
	Agressives	4
	Attaquante	2
	Avantagée	5
	Compétitive	1
	Dominantes	5
	Offensive	6
	Prédatrice	2
Puissante	1	
Endémique	Endémique	3
Endurante	Défensive	9
	Dure à enlever	5
	Forte	7
	Indestructible	16
	Parasite	6
	Persistante	5
	Protectrice	1
	Récessive	3
	Régénératrice	1
	Renouée	1
	Résistante	17
Envahissante	Colonisatrice	7
	Conquérante	1
	Développement rapide	8
	Envahissante	22
	Intrusive	1
	Invasive	25
	Multiplicateur	4
	Productrice	9
	Proliférante	19
Généraliste	Généraliste	23
Inutile pour l'homme	Non comestible	1
Le long des routes et rivières	Aquatique	7
	Linéaire	1
	Ripicole	10
	Route	3
	Routes et rivières	7
Néfaste pour l'humain	Dangereuse	2
	Urticante	2

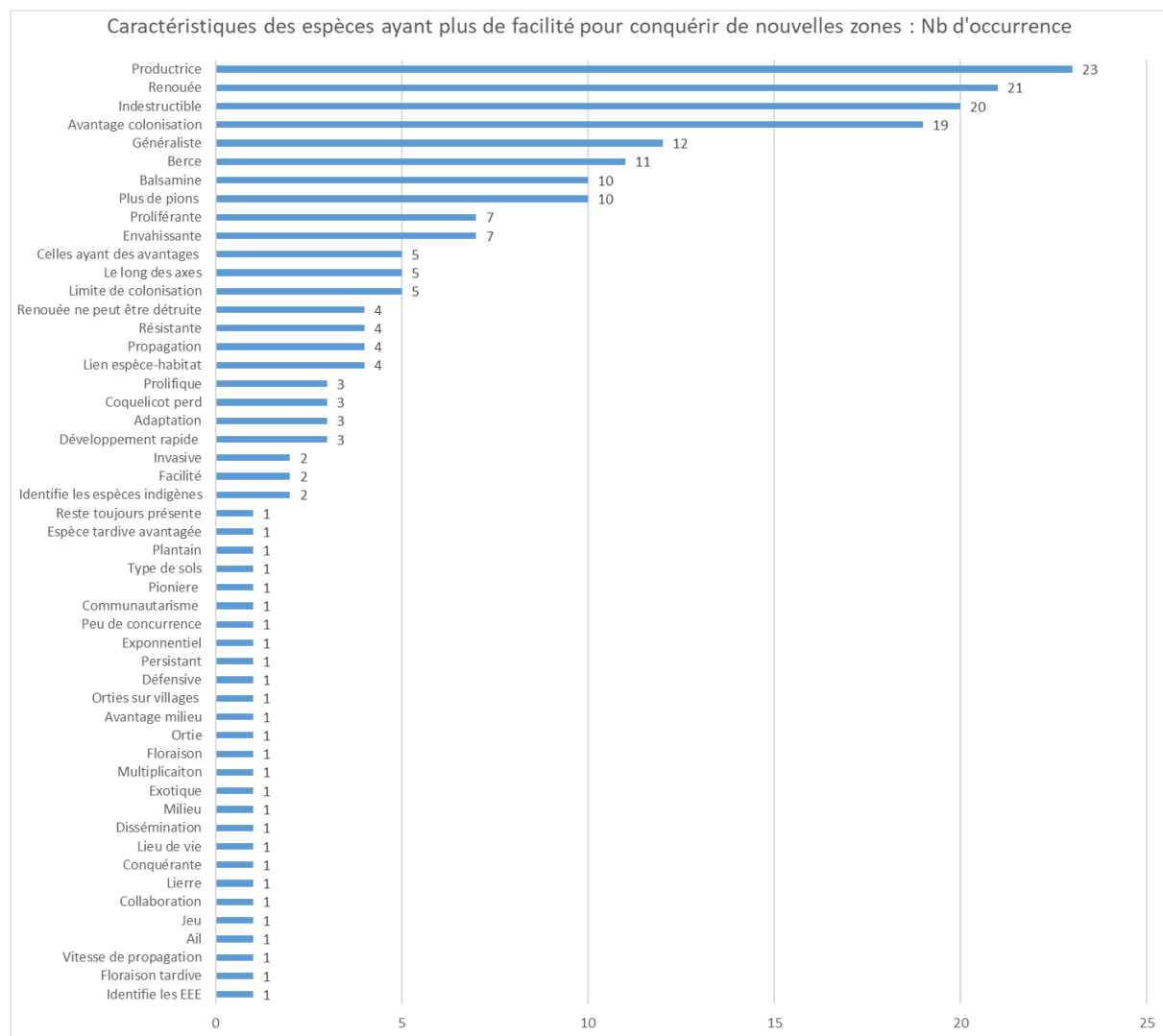
Catégorie de réponse	Mot employé	Nb d'élèves
Négative	Mauvaises herbes	2
Neutre	Amicaux	1
	Autres	3
	Cohabitante	1
	Moyen	5
	Neutre	7
	Non envahissante	1
	Non-invasive	3
	Normale	12
	Pacifiste	4
	Pas utile	1
Passive	7	
Peu invasive	1	
Sans pouvoir	3	
Pas de catégorie	Toutes différentes	15
Précoce	Mois de floraison	3
	Pionnière	4
	Précoce	2
	Printanière	1
Proie	Désavantagée	5
	Développement difficile	1
	Faible	20
	Fragile	1
	Lente	7
	Limitée	16
	Menacée	2
	Proie	7
	Spécialisée	Champêtre
Forestière		1
Milieu naturel		6
Spécialisée		1
Terrestre		1
Urbanisée	Urbanisés	9
Utile	Comestible	9
	Esthétique	1
	Médicinale	2
	Utile pour l'homme	1
Végétaux	Feuilles	7
	Fleurs	23
	Fougères	2
	Herbes	4
	Plantes	6
	Pollen	2
	Racines	2
	Végétaux	2

H. Annexe Q7 : Classement des réponses catégorisées

Q7 : Nombre d'élèves expliquant la raison des pouvoirs des espèces (par catégorie de réponses)



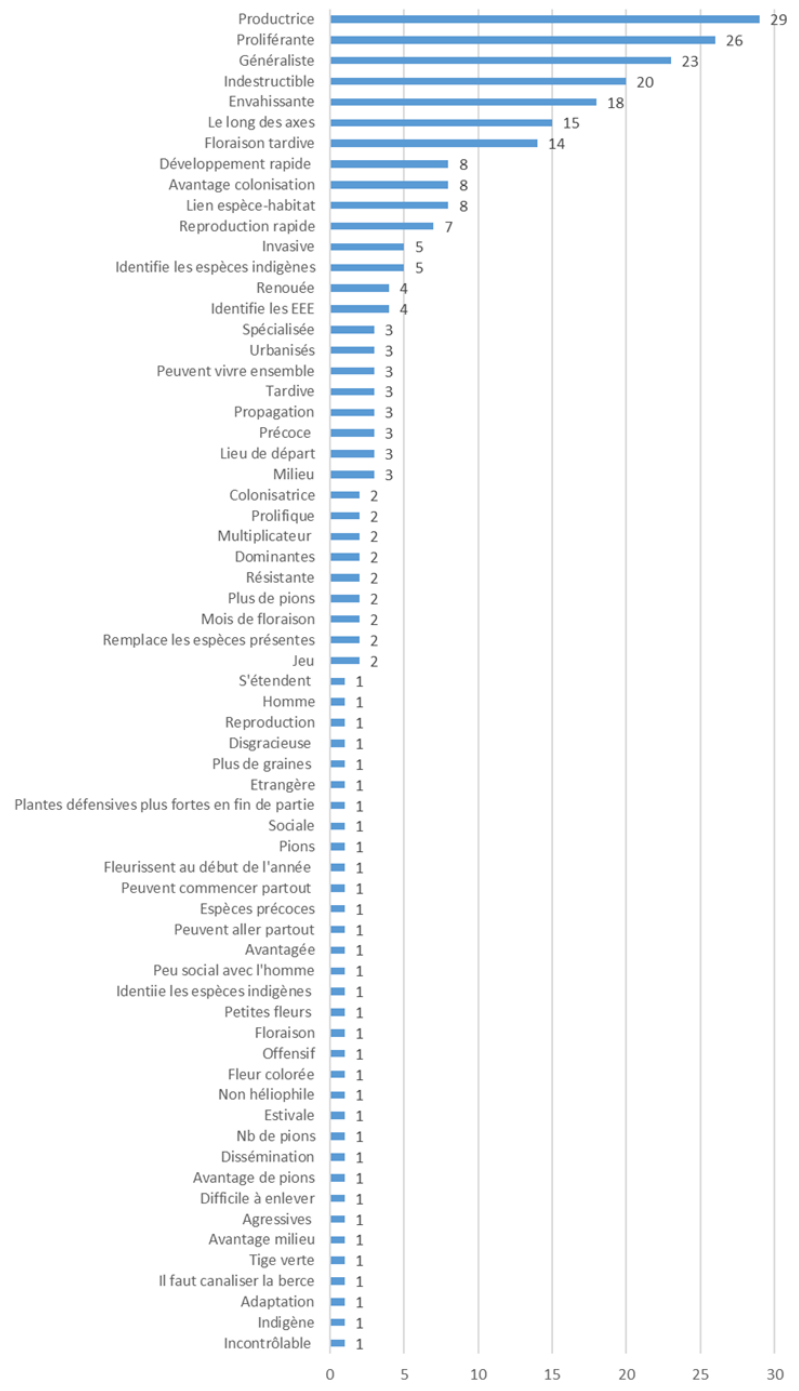
I. Annexe Q9 : Occurrence des mots employés comme réponse avant mise en catégorie



J. Annexe Q10 : Réponses brutes

Réponses brutes obtenues avant le tri et classées par catégorie de réponse :

Caractéristiques des espèces les plus compétitives (D. brutes à trier)



Étiquettes de lignes	Somme de Nombre de Eleve
Avantagée dans leur habitat	10
Adaptation	1
Avantage milieu	1
Lien espèce-habitat	8
Etrangère	8
Etrangère	1
Identifie les EEE	4
Lieu de départ	3
Floraison estivale	18
Estivale	1
Floraison tardive	14
Tardive	3
Floraison printanière	5
Espèces précoces	1
Fleurissent au début de l'année	1
Précoce	3
Généraliste	25
Généraliste	23
Peuvent aller partout	1
Peuvent commencer partout	1
Hors propos	21
Jeu	2
Avantagée	1
Disgracieuse	1
Dominantes	2
Fleur colorée	1
Floraison	1
Milieu	3
Mois de floraison	2
Non héliophile	1
Petites fleurs	1
Peu social avec l'homme	1
Peuvent vivre ensemble	3
Sociale	1
Tige verte	1
Indestructible	24
Difficile à enlever	1
Indestructible	20
Plantes défensives plus fortes en fin de partie	1
Résistante	2
Indigène	7
Identifie les espèces indigènes	5
Identifie les espèces indigènes	1
Indigène	1
Proliférante	129
Agressives	1
Avantage colonisation	8
Avantage de pions	1
Colonisatrice	2
Développement rapide	8
Dissémination	1
Envahissante	18
Il faut canaliser la berce	1
Incontrôlable	1
Invasive	5
Multiplicateur	2
Nb de pions	1
Offensif	1
Pions	1
Plus de graines	1
Plus de pions	2
Productrice	29
Proliférante	26
Prolifique	2
Propagation	3
Remplace les espèces présentes	2
Renouée	4
Reproduction	1
Reproduction rapide	7
S'étendent	1
Routes ou Rivières	15
Le long des axes	15
Spécialisée	3
Spécialisée	3
Vivent à proximité de l'humain	4
Homme	1
Urbanisés	3
Total général	269

K. Annexe Q11 : Divergences entre la simulation et la réalité naturelle selon les joueurs-apprenants.

Catégorie de réponses	Mot employé	Nb d'élèves	
Climat et conditions environnementales	Facteurs climatiques	5	
	Météo	5	
	Pollution	2	
	Réchauffement climatique	4	
	Saison	3	
	Sècheresse	1	
	Température	1	
Dynamique des populations et évolution	Adaptation à certains milieux	1	
	Avantage colonisation	1	
	Colonisation simplifiée	2	
	Développement spontané	2	
	Envahissante	1	
	Évolution	1	
	Influence leur environnement	1	
	Invasive	1	
	Nombres de pions	1	
	Plus lent dans la nature	3	
	Taille des espèces	1	
	Types de sols	1	
	Vitesse de propagation	2	
	Ecosystème incomplet	Activités humaines	5
Animaux		3	
Cohabitation des plantes dans la réalité		7	
Contrôle naturel des populations		1	
Coquelicot		3	
Diversité plus importante		4	
Extinction balsamine		1	
Insecte		1	
Les espèces peuvent conquérir n'importe quel environnement		1	
Les plantes ne se battent pas		3	
Nature plus complexe		1	
Prédateurs		1	
Remplace les espèces présentes		1	
Interactions joueurs + simplification		Aléatoire	1
		Alliance joueurs	5
	Approximatif	1	
	Compétition joueurs	1	
	Exception	1	
	Identifie les limites du jeu	1	
	Inégale	1	
	Paramètres manquants	1	
	Pas de pouvoir dans la réalité	1	
	Réalisme	1	
	Simplification	12	
	Simulation	2	
	Théorique	3	
	Tour de jeu	1	
	Très proche	1	
Milieus simplifiés	Habitat illimité	1	
	Limite de colonisation	3	
	Milieu restreint	1	
	Milieus	2	
	Zone délimitée	1	

L. Annexe Q12 : Apprentissages que les joueurs-apprenants estiment avoir réalisés, classement par catégorie

Catégorie	Mots employés par l'élève	Nb d'élèves
Caractéristiques des espèces jouées	Biologie de l'espèce	24
	Caractéristiques espèces	16
	Différencier les espèces	1
	Les espèces évoluent différemment	1
	Mois de floraison	1
	Période de floraison	2
Certaines espèces sont envahissantes	Avantage colonisation	3
	Balsamine	1
	Envahissante	2
	Espèces plus abondantes	1
	Identifie les EEE	2
	Invasive	6
	Prolifération rapide	6
	Propagation	3
Résistante	1	
Découverte de nouvelles espèces inconnues	Apprendre sur espèce	3
	Découverte de nouvelles espèces	3
	Espèce inconnue	17
Espèces adaptées à leur milieu	Besoins	1
	Adaptation	2
	Habitats des espèces	3
	Lien espèce-habitat	13
	Lieu de vie	9
	Limite de colonisation	2
	Milieu	7
J'ai appris d'une manière différente	Apprendre différemment	1
	Apprentissage plus rapide	1
	Difficultés	1
	Favorable pour exercice	1
	Introduction	1
	Nécessité d'un cours théorique	1
	On apprend moins	1
	Pas assez visuel	1
	Suscite l'interrogation	1
	Visualisation	1
Relations entre les espèces végétales	Compétition	1
	Dominantes	1
	Facilité de les chasser	1
	Interaction plantes	1
	Reproduction	1
	Spécialisée	1
	Stratégie de développement	3

M. Annexe I (Q13)

Expressions utilisées par les participants pour décrire l'utilisation du jeu dans le cadre de l'école

