Institutional Repository - Research Portal
Dépôt Institutionnel - Portail de la Recherche
researchportal.unamur.be
University of Namur

THESIS / THÈSE

MASTER EN SCIENCES BIOLOGIQUES DES ORGANISMES ET ÉCOLOGIE

Impacts d'une simulation informatique sur l'apprentissage des modèles mathématiques des relations interspécifiques de compétition et de prédation dans le cadre d'un cours d'écologie en enseignement universitaire

Philipin, Pauline

Award date:
2016

Awarding institution:
Universite de Namur

Link to publication

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

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

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

Download date: 02. May. 2026

Université catholique de Louvain
École de biologie

Université de Namur
Département de biologie

Impacts d'une simulation informatique sur l'apprentissage des modèles mathématiques des relations interspécifiques de compétition et de prédation dans le cadre d'un cours d'écologie en enseignement universitaire

Philipin Pauline

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

Promoteur : Vervoort Arnaud (UNamur)
Copromoteur : Kestemont Patrick (UNamur)

Année académique 2015 – 2016

Remerciements

Par ces quelques mots, j'adresse mes remerciements aux personnes qui m'ont apporté leur aide pour la réalisation de ce mémoire.

En premier lieu, je tiens à remercier Monsieur Vervoort, mon promoteur, pour m'avoir guidée dans mon travail, pour ses précieux conseils et pour le temps qu'il m'a consacré. Je tiens également à remercier le professeur Patrick Kestemont, mon co-promoteur, et le professeur Thierry Hance de m'avoir permise de réaliser les séances de tests dans le cadre de leur cours.

Mes remerciements vont également au professeur Jean-Pierre Thomé pour le temps qu'il a consacré à la relecture des questionnaires.

Je tiens à remercier les étudiants de la Haute Ecole Albert Jacquard pour leur immense travail qui a contribué à la création de « Yummy Bunny ! ».

Un grand merci à l'équipe de l'UMDB pour leur aide et leurs conseils lors de la réalisation de ce mémoire.

Je remercie aussi les étudiants de l'Université de Namur et de l'Université catholique de Louvain-la Neuve pour leur participation aux différentes séances de tests organisées dans le cadre de ce mémoire.

Enfin, mes remerciements les plus sincères vont à mes parents, ma sœur et mon frère, Julien et tous mes amis pour m'avoir soutenue et encouragée tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Résumé : Impacts d'une simulation informatique sur l'apprentissage des modèles mathématiques des interactions interspécifiques de compétition et de prédation dans le cadre d'un cours d'écologie en enseignement universitaire.

Les technologies de l'information et de la communication (TIC) sont, depuis quelques années, utilisées dans le cadre de l'enseignement et peuvent avoir des impacts positifs sur l'apprentissage et la motivation des apprenants aussi bien au niveau de l'enseignement primaire que secondaire ou supérieur. Ce mémoire s'intéresse plus particulièrement à l'impact d'une simulation informatique, « Yummy Bunny ! », dans le cadre d'un cours universitaire d'écologie. Cette simulation informatique, créée en partenariat avec des étudiants de la Haute École Albert Jacquard, concerne les modèles mathématiques des interactions interspécifiques de prédation et de compétition de Lotka et Volterra. Selon le constat d'un professeur d'écologie, cette matière représente un obstacle à l'apprentissage des étudiants de l'université « constat ». Pour mesurer l'impact de « Yummy Bunny ! » sur l'apprentissage des étudiants, des questionnaires évaluant les connaissances théoriques et la compréhension des modèles mathématiques concernés ont été soumis aux étudiants d'une autre université dans le cadre d'un cours d'écologie. Les étudiants ont été répartis en deux groupes : un groupe « contrôle » qui a assisté à une séquence de cours de 2 heures avec le professeur de l' université « expérience » et un groupe « expérimental » qui a utilisé la simulation informatique pendant une séance de même durée. Le nombre d'étudiants participant (9 étudiants) ne permet pas de mettre en évidence un impact de la simulation informatique sur les connaissances théoriques acquises ou sur la compréhension de cette matière. Cependant, les résultats de l'enquête menée auprès des étudiants de l'université « constat » ont révélé qu'une majorité de ceux-ci trouvent l'utilisation de « Yummy Bunny ! » plus motivant que le cours traditionnel. L'absence d'impact sur les connaissances théoriques et la compréhension est surprenant car il a été reconnu que certaines caractéristiques des simulations informatiques puissent améliorer l'apprentissage des étudiants principalement en leur permettant de visualiser et de comprendre la dynamique d'un tel modèle et de construire eux-mêmes leurs savoirs lorsqu'ils utilisent cet outils de manière autonome. L'augmentation de la motivation peut être reliée à la capacité de cette simulation à offrir un environnement interactif, tolérant, structuré et fournissant régulièrement des commentaires et encouragements. Toutes ces caractéristiques étant considérées comme des facteurs de motivation.

Abstract : Impacts of a computer simulation on the learning of interspecific competition and predation mathematical models for a university level ecology course.

Information and communication technologies (ICT) are for a few years used for education and can have positive impacts on learning and motivation of pupils from primary and secondary schools as well as higher education. This master thesis deals more specifically with the impact of a computer simulation, "Yummy Bunny!", within a university level ecology course. The simulation has been created with students of the "Haute Ecole Albert Jacquard" and deals with the interspecific competition and predation mathematical models from Lotka and Volterra. According to an ecology lecturer, that subject is an obstacle for the students of "Observation University". To gauge the impact of "Yummy Bunny!" on the student's learning, surveys evaluating theoretical knowledge and the understanding of the mathematical models involved have been submitted to the students from another university within an ecology course. Students have been divided into two groups: one "control group" regrouping the students who attended a 2-hours course with the lecturer of the « Experiment University » and an "experimental group" who instead use the computer simulation for 2 hours. The number of students (9) surveyed does not allow to highlight any impact of the computer simulation on the theoretical knowledge gained or on the understanding of the subject matter. Nevertheless, the results of an enquiry led in the "Observation University" show that most students found the use of "Yummy Bunny!" more motivating than a traditional course. The lack of impact on the theoretical knowledge gained or on the understanding is surprising since it is generally acknowledged that computer simulations do improve learning by allowing students to visualise and understand the dynamics of such a model and to build their knowledge by themselves when they use such tools autonomously. The increase of motivation is probably related to the qualities of that simulation that offers an interactive and structured environment that offers frequent comments and encouragements to its users; all these qualities are considered to be motivational factors.

Table des matières

1. Les technologies de l'information et de la communication (TIC) 6

2. Les technologies de l'information et de la communication dans l'enseignement (TICE) 6

2.1. Les catégories de TICE 7

2.2. Impacts sur l'apprentissage dans l'enseignement primaire et secondaire 8

2.3. Impacts sur l'apprentissage dans l'enseignement supérieur 10

2.4. Utilisation dans l'enseignement 11

2.5. Origine des réticences à l'utilisation des TICE en classe 12

3. Modélisation d'une discipline 13

3.1. Les jeux 14

3.1.1. Les types de jeux 14

3.1.2. Domaines d'applications 16

3.1.3. Impacts sur l'apprentissage 17

3.2. Les simulations informatiques 19

3.2.1. Définitions 19

3.2.2. Utilisation par les jeunes enfants 19

3.2.3. Impacts sur l'apprentissage 20

3.2.4. Utilisation dans l'enseignement 21

4. Objectifs de ce mémoire 22

5. Matériel et méthode 22

5.1. Conception de la simulation informatique « Yummy Bunny ! » 23

5.2. Participants 24

5.3. Détermination des groupes 24

5.4. Récolte des données 25

5.5. Les séances de cours 26

5.5.1. Cours test 26

5.5.2. Utilisation de la simulation informatique 27

5.6. Les modèles de compétition et de prédation 31

5.6.1. Le modèle de compétition 31

5.6.2. Le modèle de prédation 36

5.7. Correction des questionnaires 40
5.8. Analyse statistique 42

6. Résultats 42

6.1. Analyse de la grille d'évaluation de la simulation informatique 42
6.1.1. Amélioration de la simulation informatique 42
6.1.2. Évaluation des apports de la simulation informatique par les étudiants 43
6.2. Impact sur les connaissances théoriques et la compréhension des modèles mathématiques 44
6.3. Réponses aux questionnaires 47
6.4. Parcours pédagogique au sein de la simulation informatique 49

7. Discussion 50

7.1. Impact sur les connaissances et la compréhension 50
7.2. Analyse du parcours pédagogique 56
7.3. Impact sur la motivation des étudiants 58

8. Conclusion 61

9. Perspectives 61

Bibliographie 64

Webographie 72

Annexes 75

Annexe I : Grille d'évaluation de la simulation 75
Annexe II : Questionnaire évaluant les connaissances théoriques 76
Annexe III : Questionnaire évaluant la compréhension 78
Annexe IV : Rapports entre les résultats et la moyenne générale 81
Annexe V : Captures d'écran contextualisées des fenêtres apparaissant dans les différents niveaux de la simulation informatique « Yummy Bunny ! » 83
Annexe VI : Captures d'écran contextualisées du contenu et des figures des fiches théoriques 105

1. Les technologies de l'information et de la communication (TIC)

Les technologies de l'information et de la communication regroupent les « *technologies qui permettent l'acquisition, la production, l'approvisionnement, le traitement, la communication, l'enregistrement et la présentation d'informations, sous forme vocale, d'images et de données contenues dans des signaux de nature acoustique, optique ou électromagnétique. Les TIC comprennent l'électronique comme la technologie de base qui supporte le développement des télécommunications, de l'informatique et de l'audiovisuel.* » (Rosario, 2005). Les TIC sont représentées par les ordinateurs (de bureau ou portable), la télévision, le téléphone (fixe ou mobile), Internet et le courrier électronique, les consoles de jeux, les tablettes tactiles, ...

L'utilisation de ces TIC est très importante actuellement et ne cesse d'augmenter. En effet, la proportion de ménage composé d'au moins une personne et possédant un ou plusieurs ordinateur(s) est passé de 67% en 2007 à 82% en 2013. De même, la proportion de ménages belges ayant accès à Internet est passée de 60% en 2007 à 80% en 2013. Parmi les ménages qui possèdent une connexion Internet, 63% l'utilisent pour s'informer et 84% des individus l'utilisent tous les jours. Enfin, 90 % des belges utilisaient un téléphone mobile (GSM) ou téléphone intelligent (Smartphone) en 2007 et ce chiffre n'augmente pas fortement puisque celui-ci passe à 91,6% en 2013. Le secteur des TIC représente, de plus, un chiffre d'affaire de plus de 39 milliards d'euros avec un part de plus de 13 milliards d'euros pour les télécommunications en 2013 (SPF Économie, 2007 ; SPF Économie, 2014).

2. Les technologies de l'information et de la communication dans l'enseignement (TICE)

Les TIC sont donc de plus en plus utilisées dans notre société, il est dès lors intéressant de s'interroger sur l'impact que celles-ci peuvent avoir sur l'apprentissage et l'éducation. Les technologies de l'information et de la communication utilisées dans l'enseignement (TICE) constituent donc une catégorie de TIC qui fera l'objet de ce mémoire.

2.1. Les catégories de TICE

Selon Margaret Cox (2012), les technologies de l'information et de la communication sont utilisées dans l'enseignement depuis les années 1960 et, jusqu'aux années 1980, il existe quatre catégories de logiciels éducatifs utilisés dans l'enseignement scientifique :

- Les tutoriels, des logiciels présentant différents problèmes auxquels l'étudiant doit proposer plusieurs solutions jusqu'à la validation d'une bonne réponse.
- Les simulations informatiques qui présentent des modèles scientifiques de manière dynamique et interactive afin de faciliter leur étude par les étudiants.
- Les logiciels de modélisation qui, contrairement aux simulations, ne fournissent pas les modèles aux étudiants mais ceux-ci peuvent, dans ce cas, construire leurs propres modèles, ajouter différentes variables et tester ainsi leurs hypothèses sur l'évolution du modèle.
- L'utilisation de l'ordinateur afin de mener une expérience s'étendant sur une journée à plusieurs mois et de recueillir et analyser des données ainsi que de comparer celles-ci à des jeux de données plus important et disponibles via Internet.

Actuellement, il existe un plus grand nombre de catégories de logiciels éducatifs, Erica de Vries (2001) présente ces différentes catégories et leurs fonctions pédagogiques qui sont :

- Les tutoriels et les supports de cours ont ici l'unique fonction de présenter les informations sur des pages écran que les étudiants se contentent de lire. Les informations présentées sont des textes, des explications et parfois même des questions auxquelles l'étudiant doit répondre pour pouvoir continuer.
- Les « drill » ou « exercices répétés » qui dispensent une série d'exercices, sont de préférence utilisés après un enseignement classique et ont pour but de faire acquérir une certaine aisance et vitesse dans la matière.
- Les « tuteurs intelligents » ont pour but d'enseigner et l'ordinateur doit alors remplir la fonction de l'enseignant. La conception de ce type de logiciel n'est pas facile puisqu'il doit à la fois maitriser le domaine à enseigner, analyser les connaissances, compétences et difficultés de l'étudiant et s'y adapter et enfin adopter une stratégie pédagogique (Bruillard, 1997).
- Les jeux éducatifs dont le rôle est de captiver l'attention et la motivation. Ils seront détaillés dans les parties « Jeux sérieux » et « Jeux de simulation ».

- Les « hypermédias » ou « multimédias » fournissent un espace d'exploration à travers lequel l'étudiant a accès à l'information via des liens informatiques (sous forme de boutons ou encore de mots soulignés). Avec ce type de logiciel, contrairement aux supports de cours, l'étudiant choisit lui-même l'ordre de présentation des informations.
- Les simulations informatiques fournissent un environnement pour la découverte de lois naturelles. Les simulations feront l'objet, comme les jeux éducatifs, d'une section plus détaillée.
- Les micro-mondes fournissent, comme les précédents, un environnement pour la découverte, mais en ce qui concerne les micro-mondes, il s'agit de faire découvrir des domaines abstraits en construisant et manipulant différents objets. Un exemple est le logiciel « Jongleur », micro-monde destiné à faire apprendre la programmation en langage LOGO aux étudiants (Xenos et Smyrnaiou, 2011).
- Les logiciels d'apprentissage collaboratif dont le but est de fournir un espace d'échange entre les étudiants, ils leur permettent de communiquer entre eux et/ou de résoudre des problèmes ensemble, à distance, de manière synchronisée ou non.

2.2. Impacts sur l'apprentissage dans l'enseignement primaire et secondaire

De manière générale, Mary Webb et Margaret Cox (2004), ont mis en évidence les résultats de plusieurs études sur l'utilisation des TIC dans l'enseignement primaire et secondaire. Ces résultats montrent, pour la plupart, une amélioration de différents aspects de l'apprentissage des sciences, des mathématiques et de l'anglais.

L'impact de l'utilisation de l'ordinateur et d'Internet, sur la motivation et la réussite des élèves, a été étudié dans l'enseignement primaire et secondaire au Bénin par Attenoukon *et al.* (2013). Les résultats indiquent que les élèves et les enseignants perçoivent clairement un impact positif sur la motivation. Un tel impact sur la réussite des élèves est cependant moins évident pour les enseignants que pour les élèves. En effet, lors de différentes entrevues, les enseignants se montrent plus prudents et moins enthousiastes que les élèves en considérant que l'effet positif des TICE n'est pas systématique et que leur utilisation doit rester un complément à l'enseignement traditionnel.

Les appareils tels que les GSM et les tablettes numériques peuvent également avoir des impacts positifs sur l'apprentissage chez les élèves du secondaire. Selon Thierry Karsenti (2015), les textos peuvent apporter plusieurs avantages notamment par différentes

communications sur les devoirs à réaliser, les matières d'examen ou encore leurs résultats scolaires, mais peuvent aussi favoriser la motivation, la ponctualité et la présence au cours.

Les livres numériques offrent également des bienfaits cognitifs comme la compréhension du vocabulaire car les étudiants peuvent plus facilement obtenir la définition d'un mot en cliquant dessus par exemple. Ils ont également un accès facile à l'information, actualisée de manière continue par les auteurs avec lesquels les étudiants peuvent interagir via le Web. Les livres numériques rendent la lecture plus agréable et intéressante via le contenu multimédia (image, vidéo,...) mais aussi par différents paramètres tels que la police des caractères ou la luminosité qui peuvent être adaptés à tout moment. Enfin, ces livres numériques présentent des bienfaits sociaux comme la collaboration, le partage et l'échange de commentaires et d'annotations avec les autres élèves (Karsenti, 2014). De plus, il y a un impact significativement positif sur la motivation à lire en utilisant un livre numérique, chez les élèves du secondaire. En effet, selon une enquête réalisée auprès d'une centaine d'étudiants, 30% d'entre eux ont déclaré préférer lire avec un iPad[1] contre 5% de préférence pour le format papier. Les auteurs mettent cependant en garde contre la distraction qui peut survenir suite à l'utilisation de la tablette et soulignent l'importance de la manière dont l'enseignant fait utiliser le livre numérique à ses élèves (Karsenti, 2014 ; Karsenti et Bruchesi, 2015).

Karsenti et Fievez (2013), ont réalisé une enquête auprès de 302 enseignants et de 6057 étudiants au Québec, sur les usages, avantages et désavantages de l'iPad[2] en classe. Les résultats de cette enquête montrent que les principaux avantages sont la portabilité de l'outil (53% des réponses des élèves et 41% des réponses des enseignants) et l'accès à l'information (38% des réponses des élèves et 51% des réponses des enseignants).

Une enquête réalisée auprès de 389 enseignants et de 2712 élèves sur l'utilisation de l'ordinateur portable au primaire et au secondaire (Karsenti et Collin, 2012) a mis en évidence des impacts positifs mais aussi quelques défis à relever pour que l'insertion de ces technologies dans l'enseignement soit plus efficace. L'utilisation d'un ordinateur portable permettrait d'améliorer l'habileté à écrire car 28% des élèves estiment que la rédaction d'un texte est plus facile et rapide grâce à l'ordinateur, ce qui leur ferait passer moins de temps à

[1] La marque iPad est précisée car les auteurs indiquent que celui-ci est souvent au premier rang lorsqu'il s'agit d'améliorer la lecture des étudiants en qualité et en quantité (Karsenti et Bruchesi, 2015).

[2] Les auteurs justifient ici le choix précis de l'iPad car c'est l'outil le plus utilisé dans les écoles de tous les continents (75% du marché mondial scolaire de tablettes), il présente le développement le plus exponentiel (plus de 300.000 applications propres à l'iPad), enfin, l'échantillon sur lequel repose l'étude utilise presque exclusivement l'iPad (Karsenti et Fievez, 2013).

la rédaction et plus de temps à la révision du texte. De plus, 68% des élèves pensent que l'utilisation d'un correcteur automatique via les logiciels de traitement de texte leur permet de faire moins de fautes lorsqu'ils sont utilisés correctement. En ce qui concerne la créativité, 80% des élèves se trouvent plus créatifs lors de l'utilisation de l'ordinateur portable, en cherchant des idées et exemples via l'accès à Internet par exemple. Un défi ici est d'éviter le plagiat, intentionnel ou non, car 25% des enseignants estiment que tous leurs élèves plagient les informations trouvées sur Internet. Les moyens technologiques les plus utilisés par les élèves pour communiquer, travailler en équipe, poser des questions et planifier des activités sont Facebook (26%), les textos (19%) et les mails (9,5%). Seuls 10% des enseignants pensent que les étudiants sont avancés ou experts dans la recherche d'informations sur Internet et 3,3% dans le jugement de la validité des informations. En ce qui concerne les avantages de l'utilisation des technologies en classe, 19,5% des enseignants estiment que cela a un impact positif sur la motivation des étudiants, 18% mettent en avant l'accès à l'information et 17% la variété des ressources disponibles.

2.3. Impacts sur l'apprentissage dans l'enseignement supérieur

Dans l'enseignement supérieur, l'étude de Raby *et al.* (2011) met en évidence les impacts positifs que peuvent avoir différents TICE sur l'apprentissage des étudiants. Une de leurs observations porte sur les « plates-formes d'apprentissage intégrées » ou « Learning Management System » (LMS) et particulièrement « WebCT », un site Web où les enseignants mettent à disposition des étudiants, les notes de cours, des références et des exercices supplémentaires avec leurs corrigés et des examens antérieurs. « WebCT », en facilitant ainsi l'accès à des informations supplémentaires en lien avec le cours, accélèrent et facilitent l'apprentissage en profondeur. Les forums de discussion et le courrier électronique favorisent la communication et l'échange d'informations entre étudiants mais aussi entre les étudiants et le professeur.

Enfin, les logiciels de présentation facilitent la compréhension du contenu du cours en synthétisant et en structurant les notes de cours. Une autre étude montre cependant que si ces logiciels sont mal utilisés, ils peuvent avoir l'effet contraire, cette étude sera détaillée dans le prochain point. Bouchaib et Benjelloun (2011) ont mis en évidence un impact positif sur la motivation et la compréhension des concepts d'électrostatique par utilisation d'un site Web « Université en Ligne » (UeL) chez les étudiants de première année en classe préparatoire. Ce site Web regroupe des parties théoriques de cours mais aussi des schémas

illustratifs, des simulations et des expériences filmées. Plus de 80% des étudiants trouvaient les cours plus motivant et plus de 85% des étudiants comprenaient mieux la matière. Lors de cette étude, les étudiants se montraient également plus actifs en coopérant avec les autres étudiants et posaient plus facilement des questions, ce qui est moins fréquent pendant les cours classiques. En chimie, un cours en ligne a permis une amélioration significative de la compréhension de la matière par les étudiants. Ce cours comprenait, entre autres, des exercices hebdomadaires et dont les réponses étaient fournies une semaine plus tard, des forums pour poser des questions aux professeurs et des liens hypertextes qui donnent accès à des sites Web fournissant des informations supplémentaires. Ce type de cours a également contribué à une hausse de la motivation chez les étudiants pour étudier la chimie (Dori *et al.*, 2003). Une autre technologie utilisée dans l'enseignement supérieur est le « télévoteur ». Par ce système, les étudiants répondent de manière anonyme à une question à choix multiple posée par le professeur et qui se trouve sur un logiciel de présentation. L'utilisation de ce dispositif permet d'augmenter de manière significative les résultats aux examens des étudiants mais ceux-ci semblent également plus impliqués dans le cours lorsque le télévoteur est utilisé (Yourstone *et al.*, 2008).

2.4. Utilisation dans l'enseignement

La manière dont les TICE sont utilisées par l'enseignant est très importante : Une participation obligatoire aux forums de discussion, des présentations PowerPoint mal exploitées ou encore des notes de cours trop complètes sont des exemples d'utilisations inadéquates, perçues par les étudiants comme peu favorables à leur apprentissage (Raby *et al.*, 2011). Dans le cas précis des présentations PowerPoint, l'étude de Savoy *et al.* (2009) révèle que, même si les étudiants préfèrent les cours avec une présentation Powerpoint, ils retiennent 15% d'information en moins lorsque ceux-ci sont mal utilisés que lors d'un cours sans Powerpoint. Le choix du style de transmission de l'information dépend de la matière qui doit être retenue : les logiciels de présentation Powerpoint présenteront un certain avantage si l'information est de type visuelle, sous forme de graphiques, figures et animations complexes. Mais ces logiciels seront défavorables pour toute information ou concept pouvant être expliqués verbalement puisque l'attention des étudiants pourrait être perturbée par les diapositives.

D'autres études spécifiques, ont été réalisées notamment sur les logiciels de présentation (Villeneuve, 2004), les groupes de discussion en ligne (Cumyn, 2004) et

les « Learning Management System » (Weaver *et al.*, 2008). Ces études soulignent également l'importance de la manière dont sont utilisés ces différents types de technologies par l'enseignant. Bouchaib et Benjelloun (2011), dont l'étude a été citée précédemment, mettent en évidence l'importance de la présence de l'enseignant. En effet, les impacts positifs sur la compréhension des notions d'électrostatique n'ont pu être observés que lorsque l'enseignant accompagnait les étudiants et organisait leurs activités. D'après Bracewell et Laferrière (1996), pour que l'utilisation des technologies soit efficace, il faut qu'il y ait une maitrise de ces technologies à la fois par les étudiants et par les enseignants. Enfin, pour Karsenti et Fievez (2013), les enseignants ont besoin d'une formation pédagogique et technique afin que l'intégration des TICE en milieu scolaire soit efficace. En effet, selon les résultats de leur enquête, les enseignants suggèrent d'être mieux formés pour améliorer l'intégration des tablettes tactiles en classe (29% des réponses).

2.5. Origine des réticences à l'utilisation des TICE en classe

D'après l'enquête de Leclère *et al.* (2007), réalisée en France, l'utilisation de TICE dans le primaire et le secondaire ne fait pas l'unanimité. Sur 440 enseignants interrogés, 72,3% utiliseraient les TICE en classe. Pour les 27,3% non-utilisateurs, les facteurs qui peuvent représenter un frein à l'utilisation des TICE sont, par exemple, le matériel informatique insuffisant, le manque de formation et d'expertise par rapport à ces nouveaux outils du point de vue technique et de la stratégie pédagogique et la peur de se trouver en difficulté face à un outil que les étudiants peuvent connaître mieux qu'eux. Une enquête plus récente (Alluin *et al.*, 2010), réalisée dans les collèges et les lycées auprès de 2529 enseignants, révèle que c'est l'effectif d'étudiants qui posent le plus de problème pour 36% des enseignants, les contraintes horaires pour 25% d'entre eux et le matériel informatique insuffisant pour 21%. Alors qu'en 2002, selon les mêmes auteurs, c'est le manque de formation qui poussait principalement deux tiers des enseignants à ne pas utiliser les TICE en classe. L'enquête de Karsenti et Fievez (2013), portant sur les avantages et désavantages liés à l'utilisation d'une tablette tactile en classe, met aussi en évidence la distraction occasionnée (58% des réponses des enseignants). Cependant, il en ressort également un désavantage lié à la nature même de la tablette comme les difficultés à écrire de longs textes avec cet outil (17%), une gestion difficile des travaux scolaires (14%), des manuels scolaires mal adaptés (9%) dont l'accès requiert, pour certains, une connexion Internet qui peut être perdue pendant les cours. Enfin, une minorité des réponses des enseignants révèle un impact négatif sur la réussite des élèves (3%). Dans le cas de l'enseignement supérieur, l'enquête de Trestini (2012) menée en 2010

révèle les principales causes évoquées par les enseignants pour leur non-usage des TICE. Des résultats de cette recherche, il ressort que les principales causes de non-usage des TICE sont : Le manque de temps (24,7%), le manque de maitrise des TICE (22,4%), le coût du matériel (15,2%) et le manque d'intérêt (8,1%). L'auteur compare ces données avec celles qui ont été récoltées 10 ans plus tôt et fait remarquer que les causes « manque de maitrise » (60%) et « manque d'intérêt » (30%) étaient plus souvent mentionnées par les enseignants. Il est intéressant de constater que aussi bien pour les enseignants dans le niveau secondaire (Alluin *et al.*, 2010) que dans le niveau supérieur (Trestini, 2012), le manque de maitrise des TICE n'est plus une des raisons principalement évoquées pour le non-usage de ces TICE.

3. Modélisation d'une discipline

Comme déjà mentionné précédemment, les simulations informatiques, qui feront l'objet de ce mémoire, peuvent être utilisées dans l'enseignement pour représenter des modèles scientifiques ou lois naturelles afin de faciliter leur étude par les apprenants (Cox, 2012 ; de Vries, 2001). Les simulations informatiques peuvent aider à la compréhension d'un modèle via la manipulation de celui-ci par les étudiants. En effet, lorsque le modèle concerné consiste en un ensemble d'équations décrivant un phénomène, ce type de logiciels permet aux étudiants de pouvoir modifier la valeur des paramètres des équations et d'observer alors les conséquences sur le phénomène représenté (Hebenstreit, 1992).

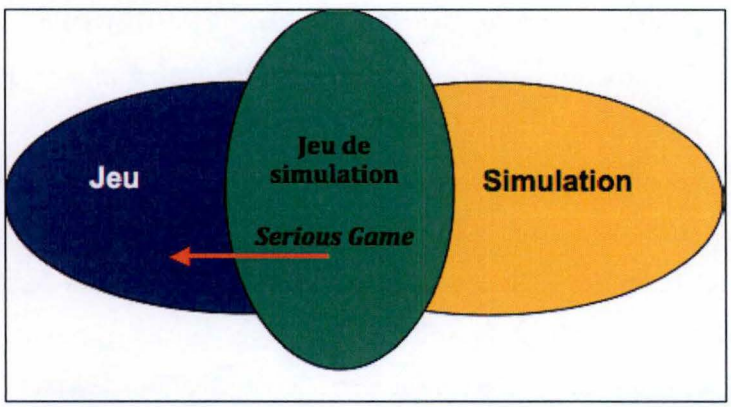


Figure 1: Schéma regroupant les jeux de simulation et les jeux sérieux dans la catégorie partagée entre les jeux vidéos et les simulations informatiques selon la définition de Louise Sauvé (2008). Les jeux sérieux se rapprochent plus des jeux vidéo (flèche) car la représentation fidèle de la réalité y est moins importante qu'aux jeux de simulation.

D'autres types de logiciels comme les jeux sérieux et les jeux de simulation offrent quant à eux une dimension ludique afin de motiver les étudiants à apprendre une matière (de Vries, 2001). Selon Louise Sauvé (2008), les jeux sérieux et les jeux de simulation sont des logiciels qui présentent des caractéristiques communes aux jeux vidéo et aux simulations informatiques (Fig. 1) Pour Sauvé *et al.* (2007a), la seule distinction entre ces deux types de jeux vient de la représentation de la réalité qui est présente au niveau des jeux de simulation mais pas au niveau des jeux sérieux. De plus, la classification exacte des logiciels éducatifs de ce genre est d'autant plus difficile que les jeux sérieux représentent un phénomène récent, utilisés dans un nombre croissant de secteurs et qu'il existe actuellement un nombre important de variantes à ce types de jeux (Loisier, 2015). L'idée d'utiliser les jeux sérieux dans l'éducation vient de l'envie de diversifier les approches pédagogiques en associant le caractère informatif à un caractère ludique et ainsi de transmettre l'information de manière agréable (Loisier, 2015). Les jeux sérieux et les jeux de simulation présentent tous deux une dimension ludique et pourraient donc agir de la même manière sur la motivation et l'apprentissage des étudiants. C'est pourquoi ces deux types de logiciels seront décrits, par la suite, dans la même catégorie de « jeux ».

3.1. Les jeux

3.1.1. Les types de jeux

A. Les jeux sérieux

Sawyer et Rejesky (in Marfisi-Schottman *et al.*, 2012) définissent les « jeux sérieux » comme une « application informatique qui emprunte au monde du jeu vidéo ses technologies et savoir-faire. Cette application n'a pas pour objectif premier le divertissement, mais pourra souvent et avantageusement intégrer une dimension ludique qui servira à sa mécanique pédagogique et favorisera son attractivité ». Tandis que la définition de Sauvé *et al.* (2007a), surtout basée sur ses caractéristiques essentielles, définissent les jeux éducatifs comme une « situation artificielle (fictive, fantaisiste) dans laquelle un ou plusieurs joueurs, mis en position de conflit (lutte, confrontation) les uns par rapport aux autres ou tous ensemble (coopération) contre d'autres forces, sont régis par des règles (procédure, contrôle et clôture) qui structurent leurs actions en vue d'un but déterminé, soit de gagner (gagnant vs perdant), d'être victorieux (contre le hasard, l'ordinateur, un ou plusieurs joueurs) ou de prendre sa revanche contre un adversaire. ». Marfisi-Schottman *et*

al. (2012) parlent même de « Learning Game » pour un jeu sérieux destiné à l'éducation et à la formation.

Utiliser les jeux vidéo pour l'apprentissage est une idée apparue dès les années 1980 (Szilas et Sutter Widmer, 2009) et l'intérêt pour les jeux sérieux se développe dans les années 2000 avec l'augmentation du nombre de jeux créés (Fig. 2), du nombre d'événements sur le sujet, de sa commercialisation et enfin, la diversification de ses applications (Mouaheb *et al.*, 2012).

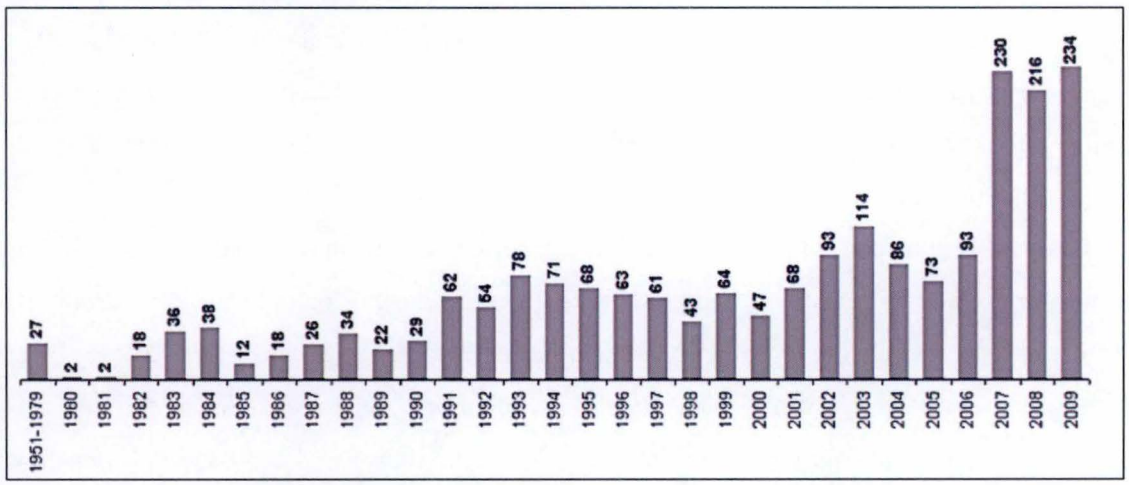


Figure 2 : Évolution du nombre de jeux sérieux publiés par année (Djaouti, 2011).

Les jeux vidéo sont de plus en plus utilisés dans la société actuelle. En effet, en France, en 2000, les joueurs représentaient 20% de la population contre 50% en 2014. La majorité des joueurs, en 2000, étaient des hommes et la moyenne d'âge de ceux-ci était 21 ans. En 2014, parmi les joueurs, la moitié est représentée par des femmes et l'âge moyen a atteint les 35 ans (Forsans, 2015). La même tendance est observée aux États-Unis où actuellement, 42% de la population, soit 155 millions de personnes, sont des joueurs. La moyenne d'âge est également de 35 ans. Parmi les joueurs actuels, environ la moitié sont des femmes contre 30% en 2003 (IDSA, 2003 ; ESA, 2015).

B. Les jeux de simulation

Le jeu de simulation possède également plusieurs définitions dont celle de Louise Sauvé (2008) : « Un modèle simplifié et dynamique d'un système réel ou hypothétique, où les joueurs sont en position de compétition ou de coopération, où les règles structurent les actions des joueurs et où le but poursuivi est de gagner. » et de Ranchhod *et al.* (2014) : « Représentations simplifiées et dynamiques de la réalité qui sont structurées comme des jeux interactifs dans le but d'améliorer le processus d'apprentissage expérientiel». Ces

définitions font toutes deux référence à des représentations dynamiques et simplifiées de la réalité mais, la première définition insiste plus sur les caractères communs aux jeux tandis que la deuxième définition spécifie que le but du jeu de simulation est l'amélioration de l'apprentissage.

3.1.2. Domaines d'applications

Les domaines d'application des jeux sérieux ont évolué depuis leurs débuts, en effet, entre 1951 et 2002, les « ancêtres » des jeux sérieux étaient essentiellement utilisés pour l'éducation (65,8%) suivie par la publicité (10,7%) et enfin l'écologie (8,1%). Depuis 2002, les jeux sérieux actuels sont utilisés principalement pour la publicité et sont appelés les « advergame » (30,6%), l'éducation arrive en deuxième position (25,7%) et enfin la santé (8,2%) (Djaouti, 2011).

Les jeux sérieux ont été utilisés par l'armée américaine, des musées, des entreprises, des organisations internationales ou encore des organismes de santé dans le but de recruter et former, de promouvoir des produits ou sensibiliser et soigner (Sanchez *et al.*, 2011). Plus précisément, « America's army » est un des premiers jeux sérieux, et a été produit par l'armée américaine dans le but de recruter en valorisant l'image de l'armée, d'entrainer les nouveaux soldats et pouvait informer sur les conditions dans lesquelles se réalisent les opérations militaires (Marfisi-Schottman *et al.*, 2012 ; Djaouti, 2011). Dans le domaine médical, un exemple est celui de « Pulse ! », un jeu sérieux américain produit par la société « Breakaway » en partenariat avec l'Université Texas A&M-Corpus Christi pour former le personnel médical (Breakaway Ltd, 2012). Et plus récemment, la Fédération Française des Diabétiques a créé un jeu sérieux sur le thème du diabète dans l'univers du héro de bande dessinée Luky Luke. Ce jeu vise à sensibiliser un plus grand public sur les facteurs de risque et les moyens de prévenir le diabète de type 2 (Loumé, 2016). Dans le domaine de l'écologie, il existe des jeux sérieux pour les jeunes de plus de 16 ans comme « A New Beginning », qui plonge les joueurs en 2500, dans un monde où le changement climatique va entrainer la disparition de l'espèce humaine. Les joueurs vont devoir remonter le temps et éviter cette catastrophe en remplissant différents types de missions (Deadalic Entertainment, 2012 ; Kasbi, 2011). Toujours dans le domaine de l'écologie, le jeu sérieux « Nowatera » a été créé par des enseignants et Natagora en partenariat avec l'Université de Namur. Ce jeu est destiné à être utilisé dans l'enseignement secondaire et a pour but de sensibiliser les élèves à la conservation de la biodiversité et aux impacts que certaines activités humaines peuvent avoir sur celles-ci (Natagora, 2016).

Le Musée du Louvre et « France Télévision » ont produit un jeu sérieux afin d'apprendre l'histoire des œuvres d'art du Louvre durant la Seconde Guerre mondiale. Les joueurs se glissent dans la peau de Jacques Jaujart, directeur des musées nationaux à cette époque, et doivent prendre des décisions importantes pour sauver les œuvres d'art de tous les dangers (France TV, 2014). Enfin, différents jeux ont été créés dans un but de sensibilisation comme « Vis ma vue », destiné à sensibiliser les jeunes enfants et les enseignants aux troubles visuels de certains élèves (Kasbi, 2014a) ou encore « Stop la violence ! » destiné aux adolescents afin de les sensibiliser à l'harcèlement et à ses conséquences (Tralalere, 2014 ; Kasbi, 2014b).

Les jeux de simulation ont été utilisés dans différents domaines et avec différents objectifs. Un exemple est le jeu « NECC », (Négociation et évaluation des choix collectifs) un jeu de simulation destiné à aider les agriculteurs et les conseillers agricoles à la prise de décision collective et à la négociation dans le cadre de la gestion des productions agricoles (Le Bars *et al.*, 2004). Dans un autre contexte, le jeu de simulation « Arrêtons les catastrophes ! » a été crée par l'Organisation des Nations Unies (ONU) et l' « International Strategy for Disaster Reduction » (ISDR). Ce jeu de simulation met le joueur face à une région du monde qui va être victime d'une catastrophe naturelle. L'objectif pour le joueur est de minimiser les dégâts de cette catastrophe en organisant la répartition des habitations, des hôpitaux et d'autres infrastructures avec un budget limité. Ce jeu est essentiellement destiné à éduquer les générations futures, habitant dans des régions à risque, sur l'importance de la distribution et des matériaux de construction des habitations ainsi que des plans d'évacuations (ISDR). Enfin, « Forestia » est un jeu de simulation en ligne dont l'objectif est d'apprendre la gestion durable d'une forêt aux jeunes du primaire et du secondaire et peut être même de recruter en rendant l'aménagement forestier plus attirant. Ce jeu a été créé par la société CREO en partenariat avec différentes organisations, spécialistes des forêts ou non, qui donnent des bases scientifiques solides à ce jeu de simulation (CREO, 2009 ; Larose, 2011).

3.1.3. Impacts sur l'apprentissage

Les jeux sérieux sont aussi utilisés dans l'enseignement et dans ce cadre, il est important dans la conception de ceux-ci, de conserver l'équilibre entre l'aspect ludique et l'aspect pédagogique (Szilas et Sutter Widmer, 2009). Pour Roland Viau (2000), dix conditions sont à respecter pour susciter la motivation à apprendre des élèves. L'une de ces

conditions est que l'activité d'apprentissage doit représenter un défi, et en ce sens, elle ne doit pas être trop facile ou trop difficile à réaliser. Les jeux vidéo, très appréciés par les élèves, sont des exemples de ce type d'activité. En effet, pour atteindre l'objectif fixé, l'élève devra se montrer persévérant. La réussite de ce défi peut, de plus, influencer la perception de ses compétences car il attribuera cette réussite à ses efforts et ses capacités plutôt qu'à la facilité de réaliser le défi.

Sauvé *et al.* (2007a), par l'analyse de plusieurs études réalisées entre 1998 et 2005, concluent que les jeux peuvent avoir un impact positif sur l'apprentissage en développant les habiletés de coopération, de communication et de relations humaines mais aussi de résolution de problèmes et en favorisant la motivation, la structuration des connaissances et l'intégration de l'information. De même, Susi *et al.* (2007) présentent plusieurs avantages aux jeux sérieux. Tout d'abord, ces jeux peuvent permettre aux utilisateurs de faire l'expérience de situations difficiles à recréer réellement en raison de coûts élevés, d'insécurité,... Ils ont pu également mettre en évidence un impact positif sur le comportement d'attention des enfants et d'autres bénéfices comme l'amélioration de l'auto-suivi, de la reconnaissance et résolution de problèmes, de la prise de décision et de la mémoire à long-terme et à court-terme.

Tüzün *et al.* (2009) ont étudié l'impact de « Global Village », destiné à des élèves de primaire dans le cadre du cours de géographie. Selon leurs résultats, l'utilisation du jeu permet une augmentation significative de la matière apprise entre les pré-tests et les post-tests. De plus, la motivation intrinsèque augmente de manière significative tandis que la motivation extrinsèque diminue quand les élèves utilisent le jeu sérieux[3]. Ils ont moins porté leur attention sur l'objectif d'avoir de bonnes notes et se montraient plus indépendants lorsqu'ils participaient à des activités ludiques. Les jeux sérieux ont également été testés sur l'apprentissage des étudiants en 3ème année de baccalauréat dans un cours de pharmacologie (Lancaster, 2014). Les résultats du pré-test et du post-test ont révélé une augmentation significative des connaissances. Les étudiants devaient également juger l'importance que certains éléments du jeu sérieux pouvaient avoir pour l'amélioration de l'apprentissage en attribuant une note de 1 (n'est pas important) à 5 (très important). L'élément le plus important pour les étudiants est la reproduction fidèle de la réalité (4,64), la possibilité de

[3] En milieu scolaire, la motivation intrinsèque intervient lorsque l'élève réalise une activité par intérêt et plaisir tandis que la motivation extrinsèque intervient lorsque l'élève veut obtenir une bonne note ou lorsqu'il veut faire plaisir à ses parents ou à son professeur (Fenouillet, 1999).

recevoir un « feedback » sur les actions réalisées pendant le jeu (4,58), la capacité à résoudre des problèmes (4,51), l'apport d'informations claires et la mention des objectifs (4,45) et enfin l'accompagnement par l'enseignant pendant l'utilisation du jeu (4,25).

Les jeux de simulations ont été utilisés pour tenter d'améliorer l'apprentissage des étudiants dans différentes matières comme la gestion du marketing et la physique par exemple. Ranchhod *et al.* (2014), ont étudié l'impact de « Markstrat », un jeu de simulation développé afin d'apprendre la gestion du marketing. Lors de cette étude, les auteurs ont découvert un impact positif sur la compréhension des concepts, sur la motivation, l'implication, et la satisfaction en général mais permet aussi le développement de compétences professionnelles comme la prise de décision dans une situation dynamique et complexe et un apprentissage expérientiel. Anderson et Barnett (2013), ont quant à eux étudié l'impact de « *Supercharged !* » sur l'apprentissage des notions d'électromagnétisme chez des étudiants de secondaire. Leurs résultats montrent une augmentation significative des connaissances, par analyse des résultats d'un pré-test et d'un post-test, pour les groupes d'étudiants ayant utilisé le jeu et les groupes d'étudiants ayant assisté à un cours traditionnel.

3.2. Les simulations informatiques

3.2.1. Définitions

L'utilisation des simulations informatiques dans l'enseignement a commencé dès le début des années 1970 (Lewis et Bullock, 1972 in Couture et Meyor, 2008) et s'est répandue dans les années 2000 suite à l'apparition et l'évolution des ordinateurs personnels (Couture et Meyor, 2008). Sauvé *et al.* (2007b) définissent la simulation informatique comme « une représentation simplifiée, dynamique et juste d'une réalité définie comme un système utilisé dans un contexte d'apprentissage ». Selon les mêmes auteurs, la simulation informatique se distinguerait des jeux sérieux par son réalisme ou sa représentation fidèle de la réalité et par l'absence de conflit ou de compétition qui pousserait le joueur à vouloir gagner.

3.2.2. Utilisation par les jeunes enfants

Bernard *et al.* (2006) ont mené une expérience dans un contexte d'exposition scientifique avec des enfants de 3 à 6 ans. Le but étant de déterminer l'âge à partir duquel les enfants sont capables d'acquérir des connaissances sur le mélange des couleurs à partir

d'une simulation informatique. Les auteurs ont remarqué que les enfants âgés de moins de 4 ans montraient des difficultés à mettre en pratique ce qu'ils apprenaient avec la simulation informatique.

De plus, Bodur et Guichard (2006) ont testé leur impact sur l'apprentissage d'enfants de 8 à 10 ans. L'étude portait sur leur compréhension immédiate et leur mémorisation à moyen terme du mouvement de flexion et extension du bras chez l'homme. Avant l'utilisation de la simulation, 65% des élèves ne comprenaient pas la notion d'attache des muscles aux os et 97 % éprouvaient des difficultés à situer les points d'attache du biceps et du triceps. L'étude de l'impact sur la compréhension a été réalisée en relevant le pourcentage de bonnes réponses aux tests effectués immédiatement après l'utilisation de simulations. Ce pourcentage peut aller de 85 à 98% pour l'utilisation d'une simulation représentant des images animées et réelles d'un bras. Pour l'impact sur la mémorisation, les tests effectués 4 mois après l'utilisation d'une simulation indiquent 71 à 77 % de bonnes réponses. L'utilisation de la simulation suivie de l'utilisation d'une maquette en carton induit 100 % de bonnes réponses, contrairement aux autres scénarios d'utilisation des simulations testés.

3.2.3. Impacts sur l'apprentissage

Sarabando *et al.* (2014) ont testé l'impact d'une simulation informatique dans le cadre d'un cours de physique chez des élèves de 12 à 13 ans. Cette simulation porte plus précisément sur les concepts de masse et de poids. Leurs résultats montrent que l'amélioration de la compréhension entre les pré-tests et les post-tests, des élèves qui ont utilisé uniquement la simulation informatique est plus importante (52%) que celle des élèves ayant assisté uniquement à la séance en laboratoire (33%). Yaman *et al.* (2008) ont étudié l'impact d'une simulation informatique portant sur la chaine respiratoire de la membrane interne des mitochondries chez des élèves du secondaire. La simulation se base sur différentes questions auxquelles les étudiants doivent répondre. Leurs résultats indiquent qu'une simulation informatique peut augmenter de manière significative les connaissances des étudiants qui montrent un faible intérêt pour cette matière. Une étude a également été réalisée sur une simulation informatique, développée pour améliorer la compréhension du principe de « Le Chatelier », chez des étudiants en chimie. La simulation a été conçue, dans ce cas, pour améliorer la compréhension des étudiants en représentant ce qui leur est inobservable au niveau moléculaire. De manière plus précise, cette étude indique que la moyenne des résultats obtenus suite à un post-test par les étudiants qui ont utilisé une

simulation informatique de type analogique est significativement plus importante (90%) que la moyenne pour une simulation informatique non analogique (68%) (Trey et Khan, 2008). Dans le domaine de la biologie en enseignement universitaire, et plus précisément les séances de laboratoire portant sur l'analyse de caryotypes et sur la bioinformatique, les impacts de simulations informatiques sur ces mêmes thèmes ont été étudiés. Il a été observé que la simulation informatique sur l'analyse de caryotypes diminue le temps de cette analyse d'un facteur 4. La deuxième simulation testée peut, quant à elle, augmenter de 7% la performance des étudiants lors des tests réalisés après l'utilisation de la simulation par rapport aux performances d'étudiants ayant assisté à un cours traditionnel (Gibbons *et al.*, 2004).

3.2.4. Utilisation dans l'enseignement

Koyunlu Ünlü et Dökme (2011) ont mis en évidence, chez des élèves de 7ème année en enseignement primaire (équivalent de la 2ème année secondaire en Belgique) qu'il pouvait être plus efficace, dans le cadre d'un cours de physique sur les circuits électrique, de combiner l'utilisation d'une simulation informatique avec une activité en laboratoire. En effet, l'impact positif de l'utilisation combinée de ces deux méthodes d'apprentissage est significativement plus important que l'impact de chacune de ces techniques utilisées séparément. Cependant, il n'y a pas de différence significative entre l'impact d'une simulation informatique et l'impact des activités en laboratoire. De plus, les mêmes auteurs ont réalisé une interview afin d'obtenir les points de vue des étudiants sur la combinaison des deux techniques d'apprentissage. Ceux-ci trouvent le cours plus agréable et amusant, considèrent qu'ils apprennent plus vite et comprennent plus facilement (Koyunlu Ünlü et Dökme, 2015). Dans l'enseignement secondaire, l'étude de Sarabando *et al.* (2014), citée dans la partie précédente, a également mis en évidence un impact positif d'une combinaison de l'utilisation de la simulation informatique avec une séance en laboratoire. Les étudiants ayant assisté à une séance de laboratoire uniquement montre une amélioration de la compréhension entre le pré-test et le post-test de 20% contre 41% pour les étudiants ayant assisté à un cours combinant les deux techniques. De plus, les résultats de cette étude montrent que la technique pédagogique de l'enseignant peut également avoir un impact significatif. En effet, pour le cours avec la simulation informatique, le gain de compréhension pour le groupe d'étudiants d'un des enseignants, était de 58% mais de 45% pour les étudiants d'un autre enseignant. Dans l'enseignement supérieur, une simulation informatique a été utilisée en préparation à une séance de travaux pratique et à l'utilisation

d'un « laboratoire en ligne » dans le domaine de l'ingénierie chimique (Abdulwahed et Nagy, 2011). Les résultats de cette étude montre que l'utilisation de ces trois méthodes a contribué de manière significative à la compréhension de la matière par les étudiants.

4. Objectifs de ce mémoire

L'objectif de ce mémoire repose sur un constat réalisé par le professeur titulaire d'un cours d'écologie dispensé dans une université wallonne (qui sera appelée université « constat » par la suite). Ce professeur a en effet constaté que les étudiants du deuxième bloc annuel de bachelier en biologie rencontraient des difficultés d'apprentissage et de compréhension en ce qui concerne les modèles mathématiques de Lotka et Volterra. Il s'agira, dans un premier temps, de développer une simulation informatique en collaboration avec des étudiants de la Haute Ecole Albert Jacquard. Cette application pourrait alors être destinée à être utilisée lors de séances de travaux pratiques du cours d'écologie. En ce qui concerne l'impact de cette simulation informatique, il sera tenté de déterminer dans quelle mesure l'utilisation de celle-ci peut améliorer la compréhension et l'apprentissage des étudiants. Il sera aussi envisagé d'identifier les caractéristiques et composantes de la simulation informatique qui peuvent favoriser l'apprentissage des modèles mathématiques représentés mais aussi la motivation à apprendre cette matière. De plus, l'enregistrement des réponses données par les étudiants aux différentes questions de la simulation permettra d'identifier de manière plus précise les aspects de la matière qui représentent des obstacles pour l'apprentissage des étudiants. L'hypothèse de recherche est que l'utilisation de cette simulation informatique permettra aux étudiants de mieux comprendre et apprendre la matière, notamment grâce à la manipulation et la représentation dynamique des modèles mathématiques.

5. Matériel et méthode

Pour des raisons d'organisation horaire, il n'a pas été possible de réaliser l'entièreté de l'étude sur une seule université. Les professeurs Thierry Hance et Patrick Kestemont de l'Université catholique de Louvain et de l'Université de Namur respectivement ont donc été contactés afin de réaliser les tests avec les étudiants inscrits à leurs cours d'écologie. Dans la suite de ce manuscrit, les données seront anonymisées et des noms fictifs seront alors

utilisés, à savoir le professeur de l'université « constat » et le professeur de l'université « expérience ».

5.1. Conception de la simulation informatique « Yummy Bunny ! »

Monsieur Vervoort est à l'origine de ce projet et du contenu général de « Yummy Bunny ! » tandis que le scénario pédagogique a été proposé par moi-même et repose sur une série de questions dont les réponses des étudiants sont suivies par des feedbacks qui peuvent en effet être favorables à l'apprentissage des étudiants (Sauvé, 2007b ; Lancaster, 2014).

Le logiciel a quant à lui été développé par Céline Marcandella, Boris Marcandella et Antoine François, trois étudiants inscrits en 3ème année de Bachelier en « Techniques graphiques à finalités Techniques Infographiques » de la Haute Ecole Albert Jacquard et qui ont réalisé un stage à l'Université de Namur.

« Yummy Bunny ! » appartient à la catégorie des simulations informatiques puisque ce programme a pour objectif de représenter, de manière simple et réaliste, la dynamique des interactions interspécifiques de compétition et de prédation. Les étudiants qui l'utiliseront ne seront jamais mis en situation de compétition ou de coopération avec d'autres étudiants dans le but de « gagner ». Les modèles que peuvent visualiser les étudiants sont les modèles de compétition et de prédation de Lotka et Volterra et seront détaillés par après.

A la fin de l'année académique 2014-2015, la simulation informatique a tout d'abord été évaluée par les étudiants du 2ème bloc annuel du programme de Bachelier en sciences biologiques de l'université « constat ». Ces séances de test ont eu lieu pendant les sessions d'examen de juin et de septembre, lors des journées consacrées à l'évaluation du cours d'écologie. Celui-ci est dispensé aux étudiants de Bachelier en sciences biologiques et en sciences géographiques, mais ces derniers n'assistant pas aux séances de cours sur les modèles mathématiques de Lotka et Volterra, il ne leur a pas été demandé d'évaluer la simulation informatique. Lors de ces séances d'évaluation, les étudiants ont rempli un questionnaire (Annexe I) après utilisation de la simulation informatique afin de donner leur avis sur l'ergonomie et les apports possibles au niveau de la théorie et de la compréhension de la matière. Ce questionnaire consiste en une échelle de Likert comprenant 4 items : « pas du tout d'accord », « pas d'accord », « d'accord » et « tout à fait d'accord » (Likert, 1932).

Les étudiants avaient également l'opportunité de faire part de remarques particulières au sujet de la simulation informatique. Ces remarques ont permis de faire évoluer la simulation au niveau de la résolution de plusieurs dysfonctionnements, du timing entre les différentes questions et de l'amélioration des directives.

5.2. Participants

L'impact de la simulation informatique sur l'apprentissage de la modélisation des relations interspécifiques a été évalué au début de l'année académique 2015-2016, avec des étudiants du 3ème bloc annuel du programme de Bachelier en sciences biologiques. Plus précisément, les étudiants concernés sont inscrits à un cours d'écologie dispensé dans une autre université wallonne (qui sera appelée université « expérience » par la suite). Les étudiants participants n'ont pas encore assisté à un cours sur les modèles de prédation et de compétition de Lotka et Volterra, excepté les étudiants du 1er bloc annuel de master, qui n'ont pas obtenu les crédits pour ce cours lors de l'année académique 2014 - 2015.

Neufs étudiants étaient présents au cours lorsque les tests ont été réalisés bien que la liste communiquée par l'université « expérience » indiquait que vingt-quatre étudiants étaient inscrits à ce cours d'écologie. Avec ce petit nombre de participants, cette étude sera donc préliminaire à d'autres projets qui pourraient approfondir les résultats des analyses avec de plus grands échantillons.

5.3. Détermination des groupes

Pour étudier l'impact de la simulation informatique sur l'apprentissage et la compréhension des étudiants, ceux-ci sont séparés en deux groupes : Un groupe « contrôle » assistant au « cours test » (celui-ci sera décrit à la page 24) sur les modèles mathématiques des relations interspécifiques, et un groupe « expérimental » utilisant uniquement la simulation informatique « Yummy Bunny ! ». Idéalement, la répartition des étudiants dans les deux groupes est réalisée de manière aléatoire. Cependant, en raison du faible nombre de participants, il est peu probable d'obtenir, de cette manière, deux groupes aux performances similaires. Les étudiants sont donc répartis en fonction de la moyenne générale qu'ils ont obtenue aux examens lors de l'année 2013 – 2014. Deux étudiants avec des moyennes similaires et supérieures aux moyennes des autres étudiants sont d'abord répartis dans chacun des deux groupes. Il en est de même pour les deux étudiants suivants et ainsi de suite pour les autres étudiants. Les étudiants ajournés sont répartis de la même manière. Une des moyennes surpassait les autres et a été associée au groupe qui utilisait la simulation informatique. Suite à cette répartition, la moyenne générale du groupe « expérimental » s'élève à 14,30 tandis que la moyenne générale du groupe « contrôle » est de 12,68.

5.4. Récolte des données

Les étudiants ont été soumis à un post-test (survenant après les séquences d'apprentissage), composé de deux questionnaires, développés selon les modalités de Sarabando *et al.* (2014), Yaman *et al.* (2008) et GRECO (2004), pour évaluer les connaissances acquises suite aux différentes méthodes d'enseignement. Le premier questionnaire soumis est composé de six questions évaluant les connaissances théoriques (Annexe II) et le second questionnaire est composé de quatre questions évaluant la compréhension de la matière (Annexe III). La moitié des questions de chaque questionnaire est consacrée au modèle mathématique de la compétition et l'autre moitié au modèle mathématique de la prédation. Ces questionnaires ont été vérifiés par le professeur Thierry Hance, cotitulaire du cours d' « écologie des individus et des populations » de l'Université catholique de Louvain et par le professeur Jean-Pierre Thomé, titulaire du cours « d'Introduction à l'écologie générale » de l'Université de Liège.

Chaque séquence d'apprentissage a duré deux heures et la durée de la séance de test est de trente minutes pour les deux groupes. Pour s'assurer que tous les étudiants aient le même parcours pédagogique, le cours donné par le professeur de l'université « expérience » a été filmé afin que la vidéo soit mise à disposition des étudiants qui n'ont eu accès qu'à la simulation informatique. De même, les étudiants ayant assisté au « cours test », ont eu accès à la simulation informatique.

Il était également prévu de tester l'impact d'une combinaison du « cours test » et de la simulation informatique sur l'apprentissage des étudiants en leur soumettant les questionnaires après qu'ils aient put avoir accès à la vidéo du « cours test » pour le groupe « expérimental » et accès à la simulation pour le groupe « contrôle ». Mais les étudiants sollicités n'ont pas souhaité répondre de nouveau au questionnaire.

Pour tenir compte de la moyenne générale que chaque étudiant a obtenu lors de l'année académique 2014 – 2015, les analyses statistiques ont également été réalisées sur un jeu de données reprenant, pour chaque étudiant, le rapport entre la note obtenue aux différents tests et leur moyenne générale. Ce rapport indiquera si l'étudiant a obtenu une note supérieure à sa moyenne (rapport > 1) ou au contraire, si la note obtenue au test est plus faible que sa moyenne (rapport < 1). Plus le rapport sera proche de 1, plus la note de l'étudiant sera proche de sa moyenne générale.

Deux étudiants du groupe « expérimental » n'ont pas réussi à aller jusqu'au bout du dernier niveau de la simulation informatique sur la compétition. L'un d'entre eux à cause

d'un problème technique lié à son ordinateur portable et l'autre en raison de difficultés à répondre aux questions. Pour vérifier si cet événement n'a pas eu d'effet sur les résultats du groupe « expérimental », les analyses ont été réalisées en modifiant le jeu de données précédent.

Les mêmes analyses statistiques ont d'abord été réalisées avec un jeu de données pour lequel les résultats de ces deux étudiants (Noma : 7140-13-00 et 5305-11-00) ont été retirés. Puisque ces étudiants n'ont pas utilisé la simulation dans son entièreté, cette analyse vise à vérifier si la prise en considération de leurs résultats pour les deux questionnaires peut influencer la moyenne du groupe « expérimental ».

Enfin, puisque ces deux étudiants n'ont pas exploité le dernier niveau de la simulation dans son entièreté et que celui-ci concerne le modèle mathématique de compétition, les analyses statistiques ont de nouveau été réalisées avec un jeu de données où les résultats de la partie « Modèle de compétition » ont été retirés pour les deux types questionnaires.

5.5. Les séances de cours

5.5.1. Cours test

Le cours auquel ont assisté les étudiants du groupe « contrôle » sera appelé « cours test » par la suite. Ce « cours test », dispensé par le professeur titulaire du cours d'écologie de l'université « expérience », consiste en un exposé oral avec utilisation du tableau et du logiciel de présentation Powerpoint. Le contenu des diapositives comprend du texte, les équations des modèles mathématiques concernés et les représentations graphiques. Les concepts qui sont traités dans le cours du professeur de l'université « expérience » sont similaires à ceux qui sont présentés dans le cours du professeur de l'université « constat ». Chaque modèle est introduit par une description de la relation et plus précisément par l'historique des découvertes et expériences qui ont été réalisées pour étudier cette relation interspécifique. Lors de ce cours, le professeur de l'université « expérience » écrit les équations des différents modèles au tableau et pose des questions aux étudiants pour essayer de leur faire construire celles-ci eux-mêmes en faisant référence au cours précédent ou en reformulant des questions de manière plus précise. De plus, certains graphiques, présents dans les diapositives, sont dessinés au tableau et expliqués plus en détails : le graphique représentant les isoclines parallèles pour le modèle de compétition (Fig. 7 – p. 34), le graphique représentant l'évolution du taux d'accroissement de la population de proies en

fonction de la densité des prédateurs (Fig. 10 – p. 37) et le graphique de l'évolution de la densité des prédateurs en fonction de la densité des proies pour le modèle de la prédation (Fig. 13 – p. 40).

5.5.2. Utilisation de la simulation informatique

L'utilisation de la simulation informatique constitue un processus d'auto-apprentissage qui confronte les étudiants à une série de questions sur la matière concernée. Cette méthode permettra, par enregistrement des réponses des étudiants de découvrir quel aspect des modèles mathématiques de compétition et de prédation représente un obstacle dans leur apprentissage (Vincke *et al.*, 2014). Les réponses des étudiants sont en effet enregistrées dans une base de données hébergée sur le serveur de l'Université de Namur et sont accessibles depuis une plateforme « Yummy Bunny – ACP » dédiée à la simulation informatique.

Cette simulation informatique est constituée de plusieurs niveaux au cours desquels les étudiants doivent répondre à des questions à choix multiples ainsi qu'à des questions ouvertes sur la matière. Les étudiants répondent à ces questions soit en s'aidant des fiches théoriques débloquées au fur et à mesure de l'avancement dans les différents niveaux soit ils doivent d'abord répondre à des questions par eux-mêmes pour débloquer ces fiches matières[4]. Lors de la séance d'utilisation de la simulation informatique, les étudiants pouvaient poser des questions à l'encadrant sur ce qu'ils ne comprenaient pas au niveau des modèles mathématiques ou sur la formulation de certaines questions.

Les trois premiers niveaux de la simulation ont pour but de présenter les équations des taux d'accroissement démographique exponentiel et logistique et introduire les niveaux suivants qui concernent les modèles de prédation et de compétition. En effet, les équations qui constituent ces modèles reposent sur des modifications des équations des taux d'accroissement démographique exponentiel et logistique de populations.

Le niveau 1 présente surtout, par une fiche matière, les différentes méthodes d'estimation de la taille d'une population. L'une d'entre elle, la méthode de capture-marquage-recapture (CMR), sera mise en pratique (Fig. 3). Après l'accès à la fiche théorique sur les différentes méthodes d'estimation de la taille d'une population, les étudiants doivent identifier la méthode la plus adaptée pour estimer la taille de la population de lapins qui leur est présentée. Ils peuvent ensuite réaliser un exercice de CMR et sont

[4] Le scénario des différents niveaux de la simulation informatique « Yummy Bunny ! » et le contenu des fiches théoriques sont détaillés respectivement en annexe V et VI.

obligés de noter les résultats de leurs captures pour avoir la bonne estimation et ainsi poursuivre leur parcours à travers la simulation informatique. Dans ce niveau, les étudiants doivent donc se servir de la théorie reprise dans la fiche débloquée pour déterminer la méthode d'estimation de la taille de population qui pourra être appliquée à la situation concrète qui se présente à eux.



Figure 3 : Capture d'écran de la méthode de capture-marquage-recapture qui peut être appliquée par l'étudiant dans la simulation informatique « Yummy Bunny ! ».

Les niveaux 2 et 3 concernent respectivement l'accroissement exponentiel et logistique d'une population de lapins. Les étudiants doivent déterminer le type d'accroissement démographique pour chacun des niveaux en observant la population dans son environnement. L'aide apportée aux étudiants dans la fiche théorique correspondante consiste en trois graphiques qui représentent les fonctions mathématiques exponentielle, logistique et sinusoïdale. Les équations des accroissements démographiques et leurs descriptions sont accessibles dans une fiche débloquée à la fin de chacun des deux niveaux quand les étudiants ont répondu correctement aux questions (Fig. 4). Dans ces niveaux, les étudiants doivent donc réfléchir et observer la situation qui est présentée pour trouver, par eux-mêmes, la réponse à la première question posée. Les fiches débloquées ensuite et qui présentent les différents accroissements démographiques les aident à répondre aux questions qui suivent.

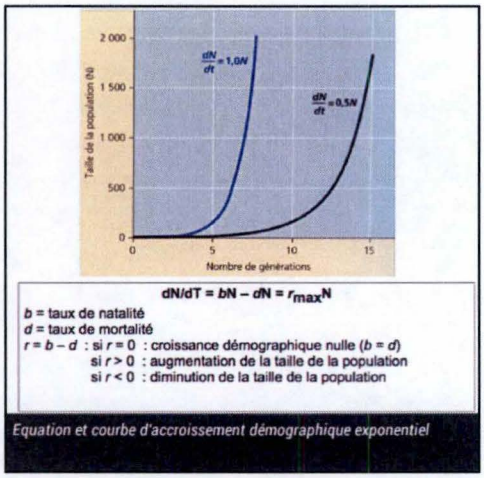


Figure 4 : Figure apparaissant dans la fiche théorique sur l'accroissement démographique exponentiel dans « Yummy Bunny ! ».

Les modèles de prédation et de compétition sont ensuite présentés respectivement dans les niveaux 4 et 5. Dans chacun d'eux, les étudiants doivent, dans un premier temps, identifier le type de relation interspécifique représentée dans chaque niveau (relation de prédation dans le niveau 4 et relations de compétition interspécifique et intraspécifique dans le niveau 5) et ont ensuite accès à une fiche décrivant le modèle mathématique correspondant. Ces deux fiches permettent de répondre à une série de questions sur les paramètres des équations constituant les différents modèles. Les étudiants ont également accès à la représentation dynamique de ces équations qui leur permet de suivre l'évolution des taux d'accroissement de chacune des populations animales impliquées dans les relations de prédation ou de compétition (Fig. 5). Les étudiants peuvent visualiser l'évolution de la densité d'une des populations en fonction de la densité de l'autre sur un graphique pour la relation de prédation et la relation de compétition (Fig. 5 et 6). Les paramètres des différentes équations et les densités de chacune des populations concernées peuvent être modifiés à tout instant par les étudiants, pour les deux types de relation interspécifique (Fig. 5).

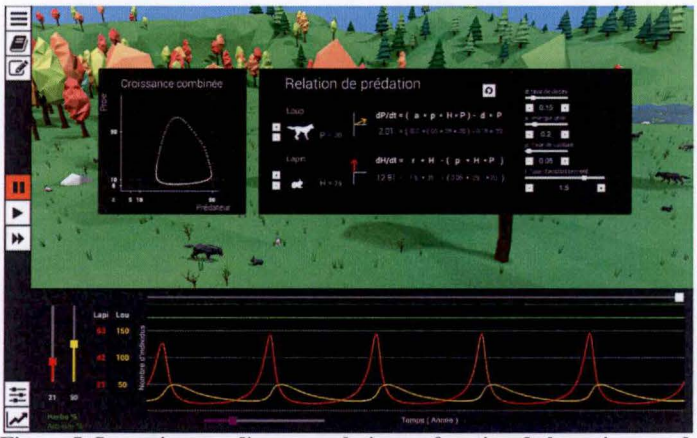


Figure 5: La croissance d'une population en fonction de la croissance de l'autre population (En haut à gauche) ; Les équations des taux de croissance de chacune des populations (En haut à droite) ; L'évolution des densités de chaque population en fonction du temps (En bas).

La simulation informatique « Yummy Bunny ! » illustre la régulation des populations par la représentation dynamique des modèles de prédation et de compétition de Lotka et Volterra. Ce concept de régulation des populations fait partie des acquis d'apprentissage communs aux cours du professeur de l'université « constat » et du professeur de l'université « expérience ».

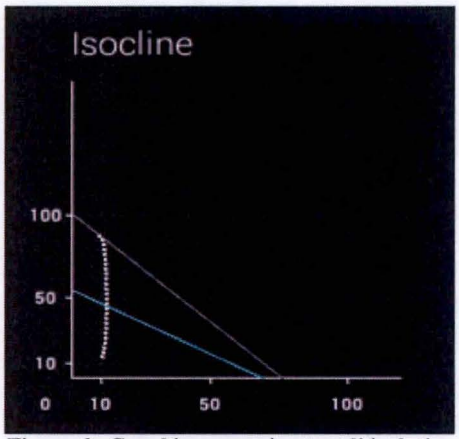


Figure 6 : Graphique représentant l'évolution de la densité d'une population en fonction de la densité d'une population compétitrice avec les isoclines à l'équilibre pour ces deux populations. La ligne en pointillés se trace progressivement en fonction de l'évolution de la combinaison des densités.

5.6. Les modèles de compétition et de prédation

Dans le cadre du cours du professeur de l'université « constat », destiné aux étudiants du 2ème bloc annuel de bachelier en biologie, la matière dans laquelle ces derniers montrent certaines difficultés en compréhension et en apprentissage porte sur les interactions interspécifiques et plus particulièrement la modélisation des relations de compétition et de prédation. Les modèles de compétition et de prédation présentés au cours sont les modèles de Lotka et Volterra. Le modèle de prédation est complété par le modèle de Nicholson et Bailey ainsi que par les réponses fonctionnelles des prédateurs. Cette partie présente donc les concepts abordés dans la simulation informatique qui sera ultérieurement développée.

5.6.1. Le modèle de compétition

Le modèle mathématique de compétition permet de déterminer dans quelles circonstances deux espèces en compétition pour les mêmes ressources peuvent coexister. Le modèle de compétition établi par Lotka (1925, 1932), Volterra (1926) et Gause (1934) consiste en une modification de l'équation logistique d'accroissement de population :

$$\frac{dN_i}{dt} = r_i N_i \left(1 - \frac{N_i}{K_i}\right)$$

Où :

r_i : Le taux intrinsèque d'accroissement exponentiel de la population de l'espèce i

N_i : L'effectif de la population de l'espèce i

K_i : La capacité de charge pour l'espèce i

La compétition intraspécifique est représentée par le terme N_i/K_i qui ralentit l'augmentation du taux de croissance lorsque N_i approche de K_i. Enfin, lorsque $N_i = K_i$, l'accroissement de la population atteint l'équilibre stable ($dN_i/dt = 0$) (Ricklefs et Miller, 2005).

Le taux d'accroissement de la population i sera de nouveau diminué lorsqu'une population j entrera en compétition pour les ressources limitantes du milieu. L'équation précédente sera donc modifiée par incorporation d'un terme représentant la compétition interspécifique :

$$\frac{dN_i}{dt} = r_i N_i (1 - \frac{N_i}{K_i} - \frac{a_{ij} N_j}{K_i})$$

Où :

a_{ij} : Le coefficient de compétition de l'espèce j sur l'espèce i.

N_j : L'effectif de la population de l'espèce j.

Le facteur a_{ij} est un facteur de conversion qui représente la différence de consommation des ressources entre les deux espèces. Ce facteur renseigne sur l'effet d'un individu de l'espèce j sur le taux d'accroissement de l'espèce i. La multiplication par N_j convertit la population de l'espèce j en unités de l'espèce i sur laquelle la population j exerce un effet (Ricklefs et Miller, 2005). L'utilisation de ressources, par exemple, par un individu de l'espèce j sera équivalente à l'utilisation par un nombre a_{ij} d'individus de l'espèce i (Smith et Smith, 2009).

Comme les populations i et j sont en compétition l'une avec l'autre, une autre équation représentant l'effet de la population i sur la population j sera :

$$\frac{dN_j}{dt} = r_j N_j (1 - \frac{N_j}{K_j} - \frac{a_{ji} N_i}{K_j})$$

A l'aide de ces équations, les isoclines à l'équilibre de chacune des deux populations en compétition peuvent être déterminées et représentées dans un graphique (Fig. 7). Sur ce graphique, la densité en individus de l'espèce i (N_i) est en abscisse et la densité en individus de l'espèce j (N_j) est en ordonnée. Pour l'espèce i, à chaque point de cette isocline, correspond une combinaison de N_i et de N_j pour laquelle la taille de la population i est stable.

Ainsi, si $dN_i/dt = 0$:

$$r_i N_i \left(1 - \frac{N_i}{K_i} - \frac{a_{ij} N_j}{K_i}\right) = 0$$

Ceci est vrai lorsque $r_i = 0$ et $N_i = 0$ mais ici, surtout lorsque :

$$1 - \frac{N_i}{K_i} - \frac{a_{ij}N_j}{K_i} = 0$$

Cette égalité peut également s'écrire :

$$K_i - N_i - a_{ij}N_j = 0$$
$$N_i = K_i - a_{ij}N_j$$

Ceci permet de déterminer les deux points que rejoint l'isocline de l'espèce i. En abscisse, lorsque $N_j = 0$: $N_i = K_i$ et en ordonnée, lorsque $N_i = 0$, $N_j = K_i/a_{ij}$. Le même raisonnement peut être effectué pour l'isocline de l'espèce j (Fig. 7 ; Begon *et al.* 2005). Il existe quatre dispositions possibles des isoclines l'une par rapport à l'autre, et pour chacune de ces situations, l'issue de la compétition est différente. La figure 7 représente la situation où l'isocline de l'espèce i est au-dessus de l'isocline de l'espèce j et dans ce cas :

$$\frac{K_i}{a_{ij}} > K_j \qquad \text{et} \qquad K_i > \frac{K_j}{a_{ji}}$$

L'espèce i est donc considérée comme le compétiteur supérieur car, lorsque la combinaison de N_i et N_j dépasse l'isocline de l'espèce j, seule la taille de la population de i peut continuer à augmenter dans la zone entre les deux isoclines. Cette situation se termine par l'élimination de la population j lorsque la population i atteint le point d'équilibre correspondant à sa capacité de charge (K_i). La deuxième situation, qui n'est pas représentée ici, est déterminée par la position de l'isocline de l'espèce j au dessus de l'isocline de l'espèce i. Dans ce cas, l'espèce j est le compétiteur supérieur et élimine la population i (Smith et Smith, 2009 ; Krebs, 2009 ; Ricklefs et Miller, 2005).

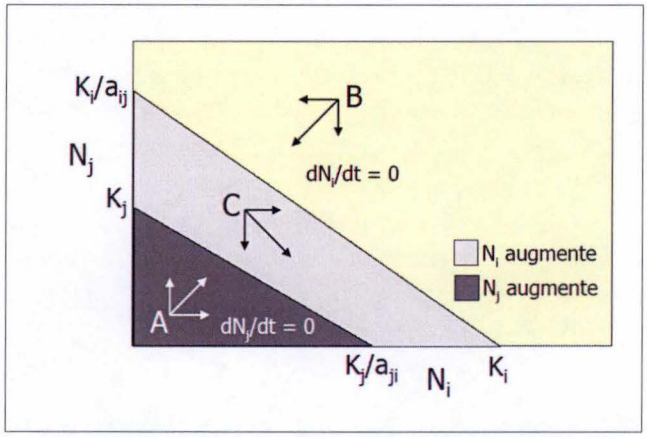


Figure 7 : Représentation graphique de la situation où l'espèce i l'emporte sur l'espèce j, moins compétitrice (Kestemont, 2015, modifié d'après Ricklefs et Miller, 2005).

Les deux autres situations sont caractérisées par le croisement des isoclines des deux espèces. Dans le cas où la coexistence des deux espèces est impossible (Fig. 8), la compétition interspécifique est plus forte que la compétition intraspécifique. Chacune des deux espèces inhibe donc, dans une plus grande mesure, la croissance de l'autre espèce que la croissance de sa propre espèce (Smith et Smith, 2009). Le point d'intersection des deux isoclines est instable tandis que les valeurs K_i et K_j sur chaque axe représentent des points d'équilibre stable (Begon *et al.*, 2005 ; Ricklefs et Miller, 2005). L'issue de la compétition dépend ici de l'espèce ayant l'effectif initial le plus important (Smith et Smith, 2009 ; Begon *et al.*, 2005 ; Ricklefs et Miller, 2005).

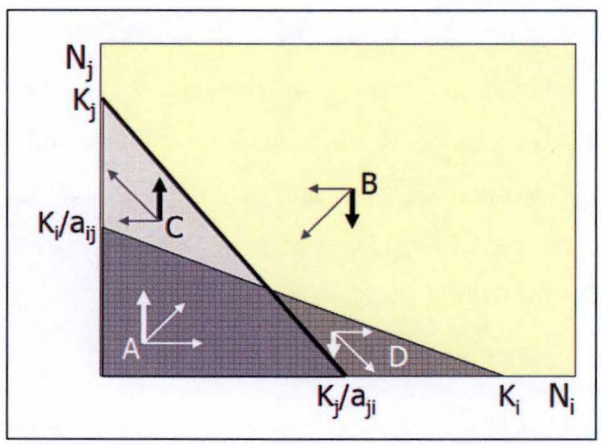


Figure 8 : Représentation graphique de la situation où la coexistence de deux espèce en compétition est impossible (Kestemont, 2015, modifié d'après Ricklefs et Miller, 2005).

Enfin, dans le cas où la coexistence des deux espèces est possible (Fig. 9), la compétition intraspécifique est plus forte que la compétition interspécifique. Chacune des deux espèces inhibe donc, dans une plus grande mesure, la croissance de sa propre population que la croissance de l'espèce en compétition (Smith et Smith, 2009).

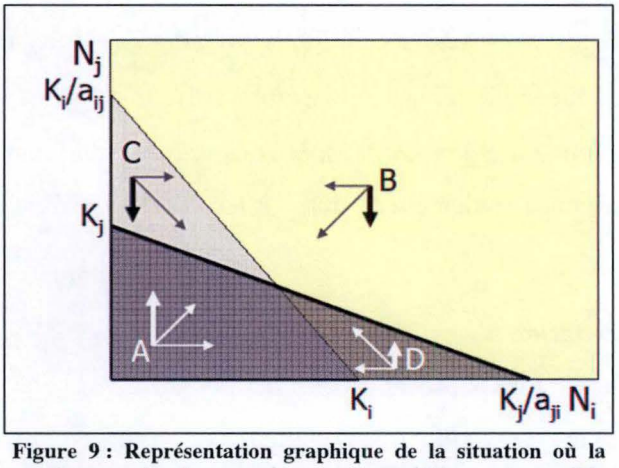


Figure 9 : Représentation graphique de la situation où la coexistence de deux espèce en compétition est possible (Kestemont, 2015, modifié d'après Ricklefs et Miller, 2005).

Pour que deux populations coexistent, elles doivent atteindre un effectif non nul et être chacune à l'équilibre ($dN_i/dt = 0$ et $dN_j/dt = 0$). Les équations des taux de croissance des populations en compétition permettent de déterminer les conditions qui doivent être remplies pour atteindre cet équilibre. Tout d'abord, comme déjà démontré précédemment, la valeur de N_i pour que $dN_i/dt = 0$ vaut:

$$N_i = K_i - a_{ij}N_j \qquad \text{et} \qquad N_j = K_j - a_{ji}N_i$$

La valeur d'équilibre de N_i lorsque la population compétitrice j est elle aussi à l'équilibre s'obtient donc en remplaçant N_j par le terme $K_j - a_{ji}N_i$ dans l'équation de N_i:

$$N_i = K_i - a_{ij}(K_j - a_{ji}N_i)$$
$$N_i - a_{ij}a_{ji}N_i = K_i - a_{ij}K_j$$

Les effectifs que les deux populations doivent atteindre pour être à l'équilibre et ainsi coexister sont donc :

$$N_i = \frac{K_i - a_{ij}K_j}{1 - a_{ij}a_{ji}} \qquad \text{et} \qquad N_j = \frac{K_j - a_{ji}K_i}{1 - a_{ji}a_{ij}}$$

Ensuite, pour que N_i et N_j soient positifs, les valeurs $1 - a_{ij}a_{ji}$ et $1 - a_{ji}a_{ij}$ doivent être positives et donc, l'inégalité suivante doit être vérifiée : $a_{ij}a_{ji} < 1$. L'intervention du taux d'accroissement exponentiel des deux espèces (r_i et r_j) n'intervient pas dans l'issue de la compétition mais influence seulement la durée à laquelle l'équilibre est atteint (Ricklefs et Miller, 2005).

5.6.2. Le modèle de prédation

Le modèle de la relation de prédation de Lotka (1925, 1932) et Volterra (1926) est le modèle mathématique le plus simple permettant de comprendre la dynamique des populations de proies et de prédateurs oscillant l'une par rapport à l'autre et consiste en deux équations. Une équation pour le taux d'accroissement de la population de proies et une équation pour le taux d'accroissement de la population de prédateurs (Begon *et al.*, 2005 ; Ricklefs et Miller, 2005 ; Smith et Smith, 2009).

A. Taux de croissance de la population de proies

Dans ce modèle, le taux d'accroissement de la population proie en présence du prédateur est représenté par l'équation :

$$\frac{dH}{dt} = rH - pHP$$

Où :

r : Le taux intrinsèque d'accroissement naturel de la population de proies.

H : La taille de la population de proies.

P : La taille de la population de prédateurs.

p : L'efficacité du prédateur.

Dans cette équation, le terme « rH » représente la croissance exponentielle de la population de proies si celle-ci ne subit aucune forme de mortalité, que ce soit celle liée à la prédation, à la maladie ou à l'âge (Ricklefs et Miller, 2005). Cependant, dans ce modèle, il est supposé que la mortalité des proies est exclusivement due à la prédation (Ricklefs et Miller, 2005). Le taux auquel les proies sont éliminées par les prédateurs dépend de la fréquence de rencontres qui va augmenter avec la densité de proies (H) et de prédateurs (P). Le taux de consommation des proies dépend aussi de l'efficacité de recherche et d'attaque des prédateurs (p) et sera donc représenté par le terme « pHP » (Begon *et al.*, 2005). Lorsque la densité de prédateurs augmente, la diminution du taux de croissance des proies est plus importante pour une population en proies de taille plus importante (pente négative plus forte pour H=50 et plus faible pour H=10 ; Fig. 10 ; Ricklefs et Miller, 2005).

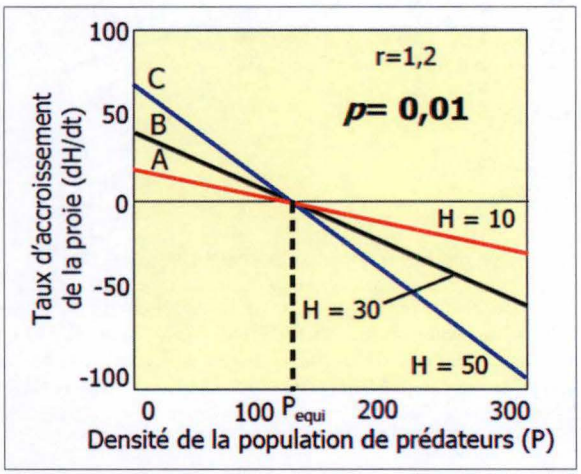


Figure 10 : Evolution du taux d'accroissement de trois populations de proies de tailles différentes (H=10, 30 et 50) en fonction de la densité de population des prédateurs (Kestemont, 2015, modifié d'après Ricklefs et Miller, 2005).

A partir de cette équation, il est possible de déterminer la valeur à l'équilibre pour les prédateurs ($P_{équilibre}$), c'est à dire la densité pour laquelle la taille de la population de proies est stable.

Quand $\frac{dH}{dt} = 0, rH = pHP$:

$$P_{équilibre} = \frac{r}{p}$$

Pour les densités de prédateurs inférieures à $P_{équilibre}$, le taux d'accroissement de la population de proies est positif et la plus grande population de proies a un taux de croissance plus élevé. Le taux d'accroissement de la population de proies devient négatif lorsque la densité en prédateurs est supérieure à $P_{équilibre}$ et la plus petite population de proies a le taux de croissance le plus élevé (Fig. 10 ; Begon *et al.*, 2005 ; Ricklefs et Miller, 2005). $P_{équilibre}$ est donc une valeur constante quelque soit la taille de la population (Fig. 10) et va diminuer lorsque l'efficacité des prédateurs « p » augmente (Fig. 11 ; Ricklefs et Miller, 2005).

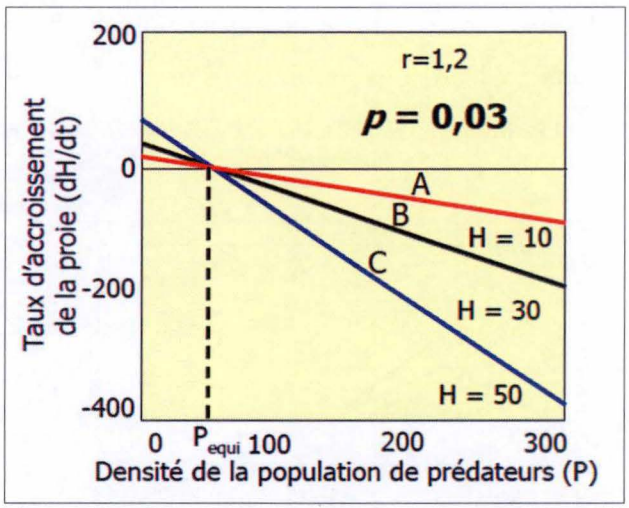


Figure 11 : Evolution du taux d'accroissement de trois populations de proies de tailles différentes (H=10, 30 et 50) en fonction de la densité de population des prédateurs avec un paramètre p fixé à 0,03 (Kestemont, 2015, modifié d'après Ricklefs et Miller, 2005).

B. Taux de croissance de la population de prédateurs

Le taux de croissance de la population de prédateurs est donné par l'équation :

$$\frac{dP}{dt} = apHP - dP$$

Où :

a : La fraction de l'énergie acquise par consommation de proies qui est utilisée pour la reproduction.

d : Le taux de mortalité des prédateurs.

Le taux de natalité des prédateurs est directement proportionnel au taux de consommation de proies « pHP », cité précédemment. Cependant, seule une fraction « a » de l'énergie acquise, lors de la consommation des proies, sera utilisée pour la reproduction et donc convertie en production de jeunes prédateurs (Begon *et al.*, 2005 ; Ricklefs et Miller, 2005). La mortalité des prédateurs, représentée par le terme « dP », qui est un taux constant et indépendant de la densité des proies (Ricklefs et Miller, 2005). La figure 12 montre l'augmentation du taux de croissance des prédateurs avec la densité des proies, une tendance inverse à celle du taux de croissance des proies en fonction de la densité de prédateurs.

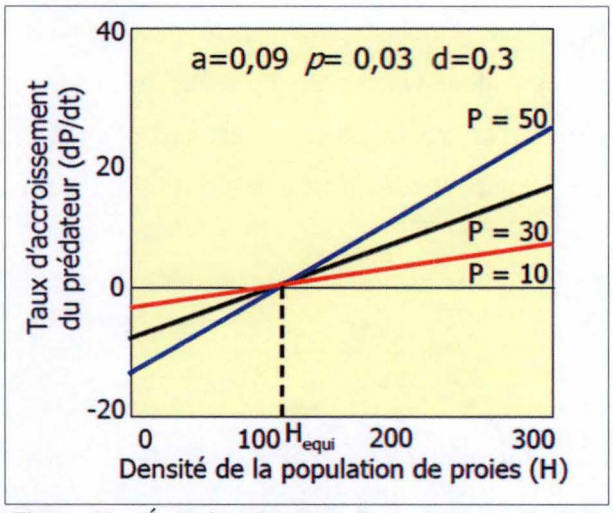


Figure 12 : Évolution du taux d'accroissement de trois populations de prédateurs de tailles différentes (P=10, 30 et 50) en fonction de la densité de population des proies (Kestemont, 2015, modifié d'après Ricklefs et Miller, 2005).

Comme pour le taux de croissance de la population de proies, il est possible de déterminer la valeur à l'équilibre pour les proies ($H_{équilibre}$), c'est à dire la densité de proies pour laquelle la taille de la population de prédateurs est stable.

Quand $\frac{dP}{dt} = 0, apHP = dP$:

$$H_{équilibre} = \frac{d}{ap}$$

Pour les densités de proies inférieures à $H_{équilibre}$, le taux d'accroissement de la population de prédateurs est négatif et devient positif lorsque la densité en proies est supérieure à $H_{équilibre}$ (Fig. 12 ; Begon *et al.*, 2005 ; Ricklefs et Miller, 2005).

C. Croissance combinée proie-prédateur

A partir des valeurs d'équilibre des densités de proies et de prédateurs, il est possible de tracer respectivement les isoclines à l'équilibre du prédateur (dP/dt = 0) et de la proie (dH/dt = 0) (Fig. 13 ; Begon *et al.*, 2005 ; Ricklefs et Miller, 2005). Ces isoclines sont tracées sur le graphique de la figure 13, où la densité de la population de proies est en abscisse et la densité de prédateurs en ordonnée. Les isoclines séparent le graphique en quatre régions. Au point A et B, la densité de prédateurs est inférieure à $P_{équilibre}$, le taux de croissance de la population de proies est donc positif et est représenté par un vecteur parallèle à l'axe horizontal et pointant vers la droite. De plus, au point A, la densité de proies est inférieure à $H_{équilibre}$, le vecteur représentant le taux de croissance des prédateurs, parallèle à l'axe vertical, pointe donc vers le bas. Le mouvement général pointera donc vers le bas et la droite. Au point B, la densité de proies est supérieure à $H_{équilibre}$, le mouvement général pointera alors vers le haut et la droite (Ricklefs et Miller, 2005).

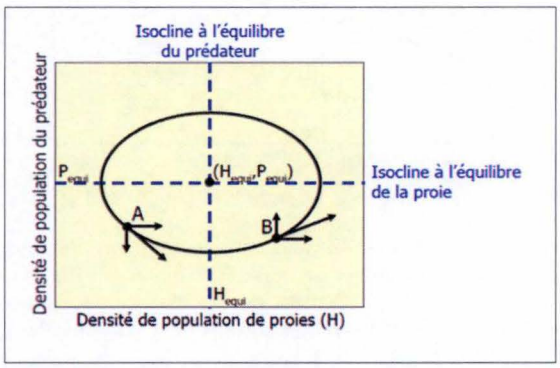


Figure 13 : Tendance générale du taux d'accroissement pour chaque combinaison de densité de proies et de prédateurs (Kestemont, 2015, modifié d'après Ricklefs et Miller, 2005).

5.7. Correction des questionnaires

Le questionnaire évaluant les connaissances théoriques de la matière (Annexe II) consiste, pour la partie qui concerne le modèle de compétition, en une première question à deux points pour laquelle l'étudiant obtient un point si il spécifie que le coefficient a_{ji} est le coefficient de compétition et un autre point si il indique que celui-ci pondère l'effet d'un individu ou d'une population i sur l'accroissement de la population j. L'ordre des indices i et j a été inversé par rapport à l'exemple communément présenté dans les livres de référence (Ricklefs et Miller, 2005 ; Begon *et al.*, 2005 ; Smith et Smith, 2009 ; Krebs, 2009). Les

deux autres questions valent chacune un point : l'une de ces questions concerne l'équation exprimant la densité à l'équilibre d'une population i en compétition avec une population j. Un demi point est retiré si les lettres i et j sont inversées dans l'indice du coefficient a_{ij}. L'autre question est à choix multiples et pour celle-ci l'étudiant doit reconnaître l'issue de la compétition par l'observation d'un graphique (Fig. 8). Cette question fait obtenir un point en cas de bonne réponse comme toutes les questions à choix multiples (QCM) des deux questionnaires.

La partie du questionnaire théorique concernant le modèle de prédation consiste également en trois questions. La première question vaut un point et implique que l'étudiant sache que l'accroissement de la population proies décroit plus rapidement pour une population de 50 proies lorsque la densité en prédateurs augmente que pour une population de 30 proies (Fig. 10). La deuxième question compte pour deux points : un point pour l'équation complète permettant de calculer $P_{équilibre}$ et un point pour la définition de ce concept. La dernière question est la plus importante du questionnaire et vaut trois points : un point pour l'équation complète du taux de croissance de la population de prédateurs et deux points pour toutes les définitions des facteurs intervenant dans celle-ci. L'étudiant obtient donc une note de dix points si ses réponses sont complètes et correctes pour l'ensemble des questions de ce test.

Le questionnaire évaluant la compréhension des étudiants (Annexe III) est composé de deux questions sur le modèle de prédation et de deux questions sur le modèle de compétition. Les deux premières questions consistent chacune en deux QCM pour lesquels l'étudiant doit justifier ses réponses. La première question nécessite que l'étudiant sache comment va évoluer la combinaison des densités d'une population i et d'une population j en compétition en fonction de la position de celle-ci dans une zone déterminée par les isoclines à l'équilibre des deux populations (Fig. 7 et 8). Un demi point est retiré lorsque le mot « isocline » n'est pas précisé dans la justification qui vaut deux points pour chacun des QCM. Pour la deuxième question sur le modèle de compétition, l'étudiant doit avoir compris que le facteur « r » et la densité « N » d'une population peut influencer la vitesse à laquelle une des populations atteint son isocline et sa densité à l'équilibre (Fig. 9). Ceci en observant les pentes des flèches représentant les trajectoires de la combinaison des densités des deux populations. Les justifications des réponses valent dans ce cas-ci un point.

La première question qui concerne le modèle de prédation porte sur l'influence que peut avoir la densité « H » en proies sur l'accroissement de la population de prédateurs

(dP/dt). L'étudiant obtient un point lorsqu'il écrit l'équation complète et correcte du taux d'accroissement « dP/dt », un point lorsqu'il explique que la population des prédateurs augmente avec la densité en proies (apHP) et un point lorsqu'il indique que cette densité « H » n'a aucun impact sur la mortalité des prédateurs « dP ». La dernière question vaut également trois points et est un QCM se référant au graphique de l'évolution de la combinaison de la densité de prédateurs et de la densité de proies (Fig. 13). L'étudiant doit justifier sa réponse en évoquant l'évolution de la densité d'une des populations en fonction de la densité de l'autre population lorsque celle-ci est supérieure ou inférieure à son isocline à l'équilibre et obtient ainsi deux points. L'étudiant obtient donc une note de seize points si ses réponses sont complètes et correctes pour l'ensemble des questions de ce test.

5.8. Analyse statistique

L'analyse statistique des résultats obtenus a été réalisée avec le logiciel R 3.1.2. Après la vérification de l'homogénéité des variances par un test de Fisher, les résultats ont été analysés via un test t de Student afin de mettre en évidence une différence significative entre les moyennes obtenues par chacun des deux groupes pour le questionnaire évaluant les connaissances théoriques et pour le questionnaire évaluant la compréhension de la matière par les étudiants.

6. Résultats

6.1. Analyse de la grille d'évaluation de la simulation informatique

Les affirmations de la grille d'évaluation (Annexe I) peuvent être classées en deux catégories : la première concerne certaines caractéristiques de « Yummy Bunny ! » et les réponses des étudiants à ces affirmations ont servi à l'amélioration de cette simulation informatique (Tableau 1); la deuxième catégorie d'affirmations concerne quant à elle les avis des étudiants sur les apports éventuels que peut avoir la simulation informatique sur leur apprentissage (Tableau 2).

6.1.1. Amélioration de la simulation informatique

Pour toutes les affirmations, les réponses sont essentiellement positives (Tableau 1). En effet, la totalité des étudiants sont « d'accord » ou « tout à fait d'accord » pour dire que l'organisation de la simulation est bonne et que les questions posées sont compréhensibles.

Et la majorité des étudiants (entre 69,5% et 95,8%) sont « d'accord » ou « tout à fait d'accord » pour dire que le contenu de la simulation est complet, qu'il y a assez de consignes pour explorer la simulation, que les liens dirigeant vers les fiches et les graphiques sont clairs et que la présentation des équations et des graphiques est claire au niveau des fenêtres de la simulation et des fiches matières.

Tableau 1: Proportions des réponses pour les affirmations du questionnaire en rapport avec le contenu de la simulation informatique lors de l'évaluation de « Yummy Bunny ! » par les étudiants du deuxième bloc annuel de Bachelier en sciences biologiques pendant l'année académique 2014-2015.

Affirmations	Pas du tout d'accord	Pas d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord
Le contenu théorique de la simulation est complet.	0%	4,2%	45,8%	50%
Il y a assez de consignes pour explorer toutes les situations possibles de la simulation informatique.	0%	30,4%	47,8%	21,7%
L'organisation de la simulation au niveau de la succession des niveaux est bonne.	0%	0%	58,3%	41,7%
Les questions posées dans la simulation sont compréhensibles.	0%	0%	66,7%	33,3%
Les liens donnant accès aux fiches et aux graphiques sont clairement indiqués.	4,3%	8,7%	56,5%	30,4%
La présentation des équations et des graphiques dans les fiches matières est claire.	0%	4,3%	47,8%	47,8%
La présentation des équations et des graphiques dans les fenêtres de la simulation est claire.	0%	13%	60,9%	26,1%

6.1.2. Évaluation des apports de la simulation informatique par les étudiants

Les résultats de cette évaluation de la simulation informatique par les étudiants montrent à nouveau des réponses principalement positives (Tableau 2). En effet, la totalité des étudiants sont d'avis que la simulation est une plus-value pour l'enseignement des modèles de prédation et de compétition de Lotka et Voltera (30,4% « d'accord » et 69,6% « tout à fait d'accord ») mais il serait également plus motivant, selon eux, de les apprendre de cette manière (30,4% « d'accord » et 69,6% « tout à fait d'accord »). Une part importante des étudiants reconnaît l'effet positif de la simulation informatique sur la compréhension de la matière par l'utilisation de la simulation à elle seule (91,3% des étudiants sont « d'accord » ou « tout à fait d'accord) ainsi que par les questions posées dans les différents niveaux (95,6% des étudiants sont « d'accord » ou « tout à fait d'accord). La plupart des

étudiants (91,3% des étudiants sont « d'accord » ou « tout à fait d'accord ») pensent qu'ils seraient mieux préparés à l'examen si ils utilisaient la simulation informatique. De plus, 65,2% des étudiants sont « d'accord » ou « tout à fait d'accord » avec le fait que la simulation informatique doit être utilisée avec l'aide d'un encadrant. Enfin, il est intéressant de constater qu'un pourcentage moins important d'étudiants (60,8% des étudiants sont « d'accord » ou « tout à fait d'accord ») estime que l'utilisation de la simulation informatique serait plus efficace qu'un cours magistral pour l'apprentissage de cette matière.

Tableau 2 : Proportion des réponses pour les affirmations du questionnaire en rapport avec les effets positifs de la simulation informatique lors de l'évaluation de « Yummy Bunny ! » par les étudiants du 2ème bloc annuel de Bachelier en sciences biologiques pendant l'année académique 2014-2015.

Affirmations	Pas du tout d'accord	Pas d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord
Les questions posées dans la simulation permettent une compréhension de la matière.	0%	4,3%	56,5%	39,1%
L'utilisation de la simulation est une plus-value pour l'enseignement de ces concepts.	0%	0%	30,4%	69,6%
L'utilisation de la simulation devrait être complétée par la présence d'un encadrant.	4,3%	30,4%	39,1%	26,1%
L'apprentissage de la matière sous forme de simulation est plus motivant.	0%	0%	30,4%	69,6%
La compréhension de la matière serait meilleure par l'utilisation de la simulation.	0%	8,7%	52,2%	39,1%
L'utilisation de la simulation vous préparerait mieux à l'examen.	0%	8,7%	56,5%	34,8%
Au vu des concepts traités, l'apprentissage par la simulation vous semble plus adéquat que de suivre un cours théorique.	4,3%	34,8%	30,4%	30,4%

6.2. Impact sur les connaissances théoriques et la compréhension des modèles mathématiques

Les résultats obtenus aux deux questionnaires par chaque étudiant (Fig. 14 et Tableau 3) montrent que les résultats du groupe « contrôle » sont plus dispersés (entre 2 et 14 pour le test « Théorie » et entre 0 et 14,4 pour le test « Compréhension) que les résultats du groupe « expérimental » (entre 4 et 7 pour le test « Théorie » et entre 3,8 et 8,8 pour le test « Compréhension). En prenant en considération la moyenne générale des résultats

d'examens que les étudiants ont obtenus lors de l'année académique 2014 – 2015 (Tableau 3), ce sont les étudiants qui ont les moyennes générales les plus élevées (15,8/20 et 14,2/20 pour le groupe « expérimental » et 14,1/20 et 13,5/20 pour le groupe « contrôle ») qui obtiennent de meilleurs résultats aux deux questionnaires. Cependant, un étudiant dans le groupe « contrôle » a la moyenne générale la plus faible du groupe (10,2/20) mais obtient de bons résultats pour les deux tests.

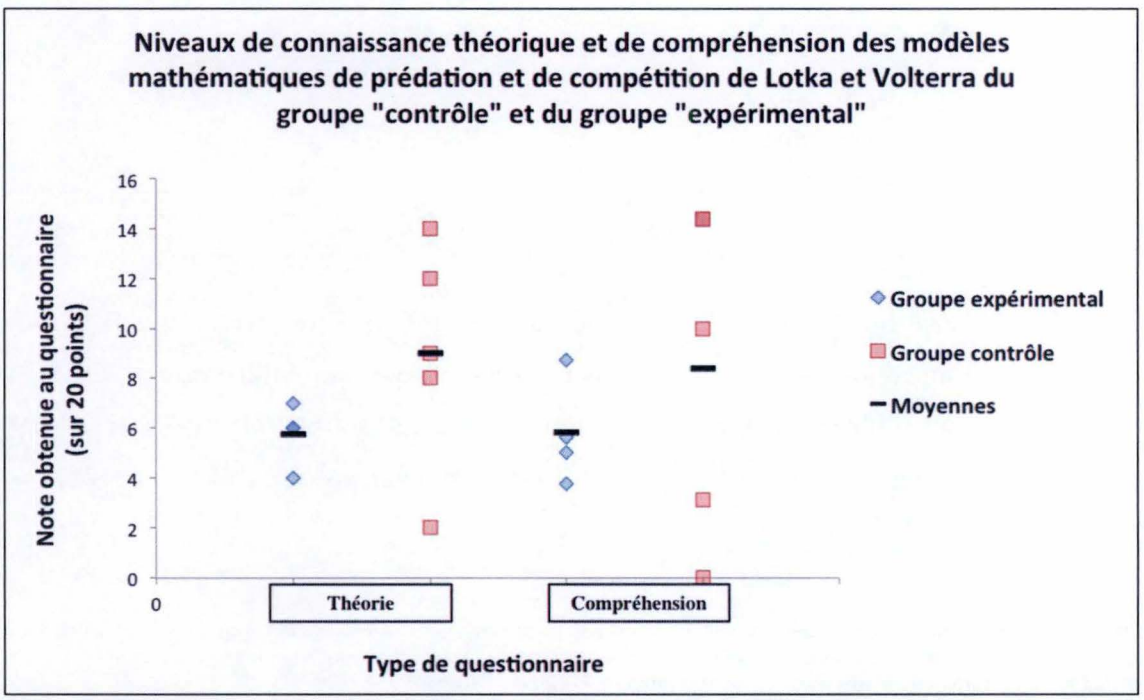


Figure 14 : Résultats obtenus aux tests évaluant les connaissances théoriques (20 points) et la compréhension (20 points), des groupes « contrôle » et « expérimental ». Les tests t de Student réalisés n'ont pas mis en évidence une différence significative entre les moyennes des deux groupes pour les connaissances théoriques (t(7)=1,3606, p=0,2158) et la compréhension (t(7)=0,7443, p=0,4809) de la matière.

L'analyse statistique réalisée sur les notes des étudiants n'a pas mis en évidence de différence significative entre les moyennes des deux groupes pour les connaissances théoriques ($t(7) = 1,3606$, p valeur = 0,2158) et la compréhension ($t(7) = 0,7443$, p valeur = 0,4809) de la matière.

Le test t de Student réalisé avec le jeu de données sans les résultats des deux étudiants qui n'ont pas fini le dernier niveau de la simulation, ne met pas en évidence de différence significative entre les moyennes obtenues par les deux groupes d'étudiants (Théorie : $t(5) = 1,1528$, $p = 0,3011$; Compréhension : $t(5) = 0,2362$, $p = 0,8227$).

Tableau 3 : Résultats des étudiants du 3ème bloc annuel en Bachelier en sciences biologiques pendant l'année académique 2015-2016 aux questionnaires évaluant les connaissances théoriques (sur 20 points) et la compréhension (sur 20 points) de la matière ainsi que les moyennes générales obtenues par chacun des étudiants aux examens de l'année académique 2014-2015.

	Noma de l'étudiant	Théorie (20 points)	Compréhension (20 points)	Moyenne générale (20 points)
Simulation informatique	7518-13-00	6,0	8,8	15,8
	7140-13-00	6,0	5,0	14,2
	5305-11-00	7,0	3,8	13,9
	3341-13-00	4,0	5,6	13,3
Moyenne		**5,8**	**5,8**	**14,3**
Variance		**1,6**	**4,6**	
Cours test	4534-13-00	14,0	14,4	14,1
	3714-12-00	9,0	10,0	13,5
	2542-11-00	8,0	3,1	12,9
	9422-12-00	2,0	0	12,7
	7270-12-00	12,0	14,4	10,2
Moyenne		**9,0**	**8,4**	**13,3**
Variance		**21,0**	**43,3**	

Le test t de Student réalisé avec le jeu de données sans les résultats de la partie « Modèle de compétition » (Tableau 4) ne met pas en évidence de différence significative entre les moyennes obtenues par les deux groupes d'étudiants pour les deux types de questionnaire (Théorie : $t(7) = 1,6142$, $p = 0,1505$; Compréhension : $t(7) = 0,5877$, $p = 0,588$).

Tableau 4 : Résultats des étudiants du 3ème bloc annuel en Bachelier en sciences biologiques pendant l'année académique 2015-2016 aux questionnaires évaluant les connaissances théoriques (sur 20 points) et la compréhension (sur 20 points) du modèle mathématique de prédation de Lotka et Volterra.

	Noma de l'étudiant	Théorie (20 points)	Compréhension (20 points)
Simulation informatique	7518-13-00	0	10,0
	7140-13-00	3,3	6,7
	5305-11-00	6,7	0
	3341-13-00	3,3	0
Moyenne		**3,32**	**4,17**
Variance		**7,48**	**25,06**
Cours test	4534-13-00	16,7	10,0
	3714-12-00	6,7	10,0
	2542-11-00	3,3	0
	9422-12-00	3,3	0
	7270-12-00	13,3	11,7
Moyenne		**8,66**	**6,34**
Variance		**36,87**	**33,98**

De même, les rapports entre les notes obtenues par les étudiants et leur moyenne générale (Annexe IV) montrent que seuls deux étudiants appartenant au groupe « contrôle » ont obtenu une note supérieure à leur moyenne (coefficients > 1). Les tests t de Student réalisés sur ce jeu de données n'ont pas mis en évidence de différence significative (Théorie : $t(4,415) = 1,7312$, $p = 0,1517$; Compréhension : $t(4,41) = 1,0984$, $p = 0,3283$). Il en est de même pour les analyses statistiques des données sans les résultats des deux étudiants qui n'ont pas eu assez de temps (Théorie : $t(5) = 1,2573$, $p = 0,2642$; Compréhension : $t(5) = 0,4709$, $p = 0,6575$) et pour les données sans la partie « Compétition » (Théorie : $t(7) = 1,6604$, $p = 0,1408$; Compréhension : $t(7) = 0,8674$, $p = 0,4145$).

6.3. Réponses aux questionnaires

Il est également intéressant de comparer les réponses des étudiants du groupe « contrôle » et celles des étudiants du groupe « expérimental » pour mettre en évidence les difficultés rencontrées par ces deux groupes. Les réponses données par les deux groupes aux différents questionnaires du post-test sont reprises dans le tableau 5.

Pour le questionnaire évaluant les connaissances théoriques acquises après les séances d'apprentissage, il y a principalement plus de bonnes réponses pour le groupe « contrôle » sauf pour la deuxième question de la partie « compétition » à laquelle tous les étudiants du groupe « expérimental » ont utilisé précisément le terme $\widehat{N}_i$ pour représenter la densité à l'équilibre de la population i.

Pour le questionnaire évaluant la compréhension des étudiants après les séances d'apprentissage, des similitudes entre les deux groupes se situent au niveau de la justification des réponses. Dans les deux groupes, il y a généralement un seul étudiant qui a été capable de fournir une justification correcte des réponses pour chaque question.

Tableau 5 : Réponses données par les étudiants du 3ème bloc annuel en Bachelier en sciences biologiques pendant l'année académique 2015-2016 aux questionnaires évaluant les connaissances théoriques et la compréhension des modèles mathématiques de prédation et de compétition.

Questionnaire évaluant les connaissances théoriques			
		Groupe « contrôle » (n = 5)	Groupe « expérimental » (n = 4)
Partie 1 : Le modèle de compétition			
Question 1 : Explication du coefficient a_{ji}		Trois explications correctes mais le terme « coefficient de compétition » n'est pas utilisé	Une seule explication correcte mais le terme « coefficient de compétition » n'est pas utilisé.
Question 2 : Equation de l'effectif à l'équilibre d'une population i en compétition avec une population j.		Aucun étudiant n'a utilisé l'accent circonflexe pour signifier l'équilibre. Un étudiant a inversé les lettres i et j pour le facteur a_{ij}.	Tous les étudiants ont utilisé le terme $\widehat{N}_i$ pour la densité à l'équilibre de la population i. Un étudiant a inversé les lettres i et j pour le facteur a_{ij}.
Question 3 : Déterminer l'espèce qui éliminera l'autre par observation du graphique.		Quatre réponses correctes	Deux réponses correctes
Partie 2 : Le modèle de prédation			
Question 1 : Tracer l'évolution du taux d'accroissement d'une population de proie avec H = 50.		Trois bonnes réponses.	Une bonne réponse.
Question 2 : Equation de $P_{équilibre}$ et sa définition.		5 équations mais une seule définition.	1 équation correcte et 2 définitions.
Question 3 : Equation de dP/dt et définitions des facteurs de cette équation.		Une bonne réponse complète.	Aucune bonne réponse.
Questionnaires évaluant la compréhension			
		Groupe « contrôle » (n = 5)	Groupe « expérimental » (n = 4)
Partie 1 : Le modèle de compétition			
Question 1.1 : Prédire l'évolution des populations i et j en fonction de la zone du graphique et justifier.	QCM 1	3 bonnes réponses + 1 seule justification correcte	1 bonne réponse + 1 seule justification correcte
	QCM 2	4 bonnes réponses + 1 seule justification correcte	4 bonnes réponses + 1 seule justification correcte
Question 1.2 : Choisir la réponse qui décrit la situation représentée et justifier	QCM 1	2 bonnes réponses + 1 seule justification correcte	Aucune bonne réponse mais une justification correcte
	QCM 2	2 bonnes réponses + 1 seule justification correcte	2 bonnes réponses mais aucune justification.
Partie 2 : Le modèle de prédation			
Question 2.1 : Décrire l'influence de la densité de proies sur le taux d'accroissement de la population de prédateurs en se servant de l'équation.		1 équation correcte + 3 explications correctes	Aucune équation correcte
Question 2.2 : Prédire l'évolution des populations de prédateurs et de proies en fonction de la zone du graphique et justifier.		2 bonnes réponses + 1 seule justification correcte	2 bonnes réponses + 1 seule justification correcte

6.4. Parcours pédagogique au sein de la simulation informatique

Comme dit précédemment, les réponses que les étudiants ont données aux différentes questions de la simulation sont sauvegardées dans une base de données mais, suite à un problème technique, les réponses d'un des étudiants du groupe « expérimental » n'ont pas été enregistrées. Les réponses des trois autres étudiants permettront de déterminer les questions qui ont posé problème à certain d'entre eux.

Il semble à première vue que certaines questions soient plus faciles que les autres puisque la bonne réponse a été choisie dès le premier essai. La première de ces questions porte sur le coefficient « r » d'une population et plus particulièrement la façon dont on obtient sa valeur, en soustrayant le taux de mortalité de cette population au taux de natalité. La seconde question concerne le modèle de prédation. Les étudiants ont tous été capables de prédire que les tailles des populations de prédateurs et de proies allaient varier de manière cyclique et synchronisée sur une échelle de temps pluriannuelle. Les autres questions pour lesquelles les étudiants ont trouvé la bonne réponse lors du premier essai concernent la compétition. Une de ces questions demandait l'issue de la compétition dans le sous-niveau où le prédateur qui élimine l'autre est celui qui a la plus grande densité initiale. Pour deux de ces questions, les étudiants devaient déterminer comment les isoclines des deux espèces compétitrices étaient disposées par rapport aux valeurs de K_i, K_j, a_{ij} et a_{ji}. Les étudiants n'ont pas eut de difficulté pour reconnaître la signification biologique de « $K_i > K_j/a_{ji}$ » et de « $K_j > K_i/a_{ij}$ » ni pour reconnaître le terme qui représente la compétition interspécifique dans l'équation du modèle de compétition malgré l'inversion des lettres i et j dans les indices des autres réponses.

Certaines questions ont cependant été plus problématiques pour la majorité ou la totalité des étudiants du groupe « expérimental ». Une question pour laquelle tous les étudiants se sont trompés dès le premier essai était : « A ton avis, comment la population de lapins va-t-elle évoluer ? ». Cette question, en lien avec les aspects démographiques de la population de lapin, intervient à trois moments différents dans les niveaux 2 et 3.

Pour la première apparition de cette question, au début du deuxième niveau, tous les étudiants ont choisit la « croissance logistique » alors qu'aucune réponse n'était possible. La deuxième apparition de cette question, survient également dans le deuxième niveau lorsque la population de lapins est dans un environnement où les ressources sont en quantité illimitée et représentées par de la nourriture non limitante. Les étudiants doivent alors déterminer que la croissance de la population de lapins sera exponentielle, lors de la séance

de test, les étudiants ont pourtant répondu, pour deux d'entre eux, qu'il manquait encore des informations pour répondre et le troisième étudiant a répondu que la croissance de la population serait logistique. La troisième apparition de cette question intervient quand à elle dans le troisième niveau où l'environnement offre une quantité limitée de nourriture où les pluies de carottes sont inexistantes et l'étudiant doit alors répondre que la population de lapins présentera une croissance logistique. Tous les étudiants du groupe ont pourtant répondu que la croissance de la population serait exponentielle. Il est intéressant de constater que dans tous les cas, aucun étudiant n'a choisi la « croissance sinusoïdale ».

7. Discussion

7.1. Impact sur les connaissances et la compréhension

Un des objectifs de ce mémoire est d'étudier l'impact que peut avoir une simulation informatique sur l'apprentissage d'un modèle mathématique dans le cadre d'un cours d'écologie en enseignement universitaire et ce aussi bien au niveau des connaissances théoriques que de la compréhension. Ces modèles mathématiques concernent les relations interspécifiques de compétition et de prédation de Lotka et Volterra. Il ressort de l'analyse statistique des résultats qu'aucune différence significative n'a été mise en évidence entre les moyennes des deux groupes d'étudiants ayant participé à cette expérience. Ce résultat ne correspond pas à l'hypothèse de départ selon laquelle l'apprentissage par utilisation de la simulation informatique serait plus efficace que par un cours classique.

Ces résultats sont à considérer avec prudence, au vu du petit nombre d'étudiants constituant les deux groupe car les échantillons de très petite taille réduisent la puissance des tests d'hypothèses comme le test t de Student (Marien et Beaud, 2003 ; Riou et Landais, 1998). En effet, les tests t de Student réalisés sur les moyennes des notes obtenues aux questionnaires des connaissances théoriques et de la compréhension ont une puissance respectivement de 20% et de 10% (Chabanet et Dessaint, 2015). De plus, si une grande différence entre les moyennes (6 points) devait être mise en évidence, avec ce faible nombre d'étudiants participants, la puissance des tests t réalisés sur les résultats resterait assez faible (45%). Il y avait donc peu de chance de mettre en évidence une différence significative entre les deux moyennes. Pour obtenir une puissance suffisante (fixée à 80%) aux analyses statistiques réalisées, la taille de chaque échantillon devrait être de minimum 32 ou 18 étudiants pour mettre en évidence une différence de respectivement 3 et 4 points entre les moyennes des notes obtenues par les deux groupes.

D'autres études réalisées sur l'impact de simulations informatiques sur l'apprentissage des étudiants ont également obtenus des résultats contrastés ne mettant pas en évidence d'impact significatif de l'utilisation de ce type de logiciel. C'est notamment le cas de l'étude de Dewhurst *et al.* (1994) qui, dans le cadre d'un cours de physiologie sur le processus d'absorption intestinale, ont comparé les gains de connaissances entre un groupe ayant assisté à une séance de laboratoire et un groupe ayant utilisé une simulation informatique. Leurs résultats ne montrent aucune différence significative entre les moyennes des deux groupes. Mais une enquête auprès des étudiants révèle que ceux-ci montrent une attitude positive envers l'utilisation de la simulation. Reamon et Sheppard (1997) ont comparé l'effet d'une simulation informatique à celui d'un cours théorique et d'un cours pratique mais aussi à la combinaison de l'utilisation de la simulation au cours théorique et la combinaison des trois types de dispositif. Leurs résultats indiquent que la simulation utilisée seule ne pouvait avoir un effet significativement positif sur la compréhension des étudiants.

Bien que ce mémoire ne l'ait pas formellement montré, il semble que l'utilisation de « Yummy Bunny ! » pourrait présenter des résultats similaires à ceux détaillés par Dewhurst *et al.* (1994). En effet, les résultats des tests théoriques et de compréhension obtenus dans le cadre de ce mémoire sont surprenants dans la mesure où les étudiants semblent majoritairement convaincus que cette simulation informatique pourrait avoir un impact positif sur leur compréhension de la matière et sur leur préparation à l'examen. Cette différence de résultats entre les notes obtenues aux questionnaires et l'évaluation des qualités de la simulation s'explique vraisemblablement par le fait que le public sondé, constitué des étudiants de l'université « constat », est différent du public dont les notes ont été évaluées et constitué des étudiants de l'université « expérience ». Tout d'abord, ces deux publics diffèrent par leur niveau de formation car les étudiants de l'université « constat » sont inscrits au 2ème bloc annuel de bachelier en biologie alors que les étudiants de l'université « expérience » sont inscrits au 3ème bloc annuel de bachelier. Il serait alors plus important pour les étudiants de l'université « constat » d'avoir un dispositif complémentaire au cours théorique pour les aider à apprendre cette matière. Ensuite, le cours test auquel les étudiants de l'université « expérience » ont assisté avec leur professeur a été adapté pour être donné sur la séance d'apprentissage de deux heures alors que les étudiants de l'université « constat » ont assisté aux quatre heures de cours qui sont habituellement consacrées à cette matière. Dès lors, il est surprenant de constater que les étudiants de

l'université « constat », qui ont assisté à un cours d'une durée plus longue que les étudiants de l'université « expérience », s'attendent à un impact positif de l'utilisation de la simulation informatique sur leur apprentissage de la matière. Une autre différence importante entre ces deux groupes d'étudiants et qui pourrait expliquer cette observation est la méthodologie adoptée par les professeurs pour expliquer les modèles mathématiques de Lotka et Volterra. Le professeur de l'université « expérience » utilise le tableau noir pour représenter les graphiques et construire progressivement les équations de chaque modèle tandis que le professeur de l'université « constat » utilise le tableau pour représenter uniquement les graphiques afin de montrer aux étudiants l'évolution des densités de deux populations en compétition.

En général, l'utilisation du tableau noir, permet d'engendrer chez les étudiants, une série de comportements ou de réactions tels que l'attention et la mémorisation des éléments écrits au tableau (Hassan, 2008). De plus, lorsque l'enseignant écrit au tableau, et particulièrement dans le cadre d'un cours de mathématiques, il ne communique pas seulement le contenu à retenir mais il écrit également la démarche de raisonnement qui y conduit (Nonnon, 2004). Tous ces avantages de l'utilisation du tableau par l'enseignant amènent peut-être les étudiants de l'université « constat » à être plus favorables à l'utilisation de la simulation informatique que les étudiants de l'université « expérience » qui ont eu l'opportunité de découvrir les différents modèles mathématiques par une construction collective, avec l'enseignant.

Comme mentionné dans la partie « matériel et méthode », les questionnaires qui évaluent les connaissances théoriques acquises et la compréhension des modèles ont été vérifiés par des spécialistes de la matière concernée. Ceci permettant d'éventuellement améliorer la valeur des questions et la clarté des consignes (Howe et Ménard, 1994). Il semble dès lors peu probable que la formulation de certaines questions ait pu entravé la capacité des étudiants à comprendre ce qui leur était demandé.

Malgré que ce mémoire n'ait pu vérifier l'hypothèse de départ, plusieurs études ont put mettre en évidence un impact positif des simulations informatiques dans différentes disciplines de l'enseignement secondaire mais également de l'enseignement supérieur. Ces études ont également identifié certaines caractéristiques, directement liées aux simulations informatiques ou au contexte de leur utilisation, qui sont susceptibles d'améliorer l'apprentissage des étudiants. Ces caractéristiques seront détaillées ci-dessous avec, en conséquence, différentes raisons pour lesquelles il est surprenant que « Yummy Bunny ! »

n'ait pas eu d'impact positif sur les connaissances théoriques et la compréhension des modèles mathématiques de Lotka et Volterra.

Pour commencer, les simulations informatiques permettent aux étudiants de visualiser et de percevoir des phénomènes à l'échelle microscopique ou des concepts abstraits et contribuent de cette manière à l'amélioration de l'apprentissage à court terme (Finkelstein *et al.*, 2005 ; Koyunlu Ünlü et Dökme, 2011 ; Durán *et al.*, 2007 ; McKagan *et al.*, 2008 ; Trey et Khan, 2008 ; Perkins *et al.*, 2006) et à long terme (Temiz et Akuner, 2009). Plus précisément, si les composantes graphiques des simulations sont de haute fidélité, elles peuvent favoriser l'apprentissage des étudiants qui ont une faible capacité de raisonnement abstrait (Chang *et al.* 2008). Pour De Jong et Njoo (1992), dans le cas de la représentation d'un modèle dynamique, le fait de changer l'échelle naturelle du temps, comme c'est la cas pour « Yummy Bunny ! », permet de mieux percevoir l'évolution du système concerné. Dans le cas de la simulation « Yummy Bunny ! », les étudiants peuvent non seulement visualiser l'évolution des densités de chaque population animale par les graphiques mais également les équations des modèles les régissant. Cette association de graphiques et d'équations sur la même fenêtre permet aux étudiants de comprendre « pourquoi » et « comment » les trajectoires des densités peuvent être modifiées lorsqu'ils font varier l'un ou l'autre paramètre (Fang, 2012).

De plus, au sein de la simulation « Yummy Bunny ! », les étudiants peuvent progresser à partir des niveaux les plus simples sur les équations d'accroissement démographique jusqu'aux plus complexes sur les modèles de prédation et de compétition. Selon McKagan *et al.* (2008), cette progression permet de faciliter l'apprentissage de la matière en diminuant la charge cognitive des étudiants.

Certaines simulations informatiques, dont « Yummy Bunny ! », peuvent aussi fournir des commentaires ou « feedback » sur les réponses des étudiants et améliorer la compréhension des étudiants (Rieber, 1996). Cette caractéristique sera discutée plus en détails dans la partie qui concerne la contribution des simulations à la motivation des étudiants.

Ensuite, les simulations informatiques offrent une représentation simplifiée de la réalité ou d'un processus, ce qui permet aux étudiants de ne pas être distraits par certains détails et ainsi d'être focalisés et d'apprendre au mieux les notions les plus pertinentes (Finkelstein *et al.*, 2005 ; McKagan *et al.*, 2008).

Enfin, certaines caractéristiques des simulations informatiques peuvent également favoriser le développement de certaines compétences comme par exemples, la possibilité de réaliser une activité plus rapidement qu'en conditions réelles en laboratoire (Gibbons *et al.*, 2004), d'améliorer l'habilité à prédire les résultats d'une expérience (McKagan *et al.*, 2008) ou à générer des hypothèses (De Jong et Van Joolingen, 1998).

Dans la suite de cette partie de la discussion, seront détaillés les facteurs liés au contexte de l'utilisation d'une simulation informatique et qui peuvent peut être expliquer les raisons pour lesquelles il n'y a pas eu d'impact positif sur l'apprentissage des étudiants dans le cadre de ce mémoire.

Tout d'abord, pour certains auteurs, l'intégration de technologies telles que les simulations informatiques ne peut avoir un impact positif sur l'apprentissage des étudiants que si les enseignants n'ont pas uniquement reçu une formation technique mais ont aussi adapté leurs pratiques pédagogiques lorsqu'ils utilisent ces technologies en classe (Cox, 2012 ; Lebrun 2004). Lors du déroulement de la séance d'apprentissage avec l'utilisation de la simulation informatique, l'encadrant qui accompagnait les étudiants n'avait pas de formation pour l'utilisation des TICE. Dans le cas de « Yummy Bunny ! », le parcours des étudiants repose sur une succession de questions qui les amènent progressivement aux modèles mathématiques de prédation et de compétition et les font réfléchir aux composantes de ces équations et à l'évolution des densités de populations concernées. Le rôle de l'encadrant pouvait donc, dans le cadre de ce mémoire, se « limiter » à répondre aux questions des étudiants si certaines notions semblaient incompréhensibles pour eux. Le manque de formation de l'encadrant ne risquait donc pas de constituer un obstacle à l'amélioration de l'apprentissage de la matière par la simulation informatique.

Ensuite, certaines études déjà citées dans ce mémoire ont mis en évidence un impact positif d'une simulation informatique lorsque celle-ci est utilisée en complément à une séance de laboratoire. Ces séances de laboratoire sont même indispensables afin que les étudiants puissent réaliser de véritables expériences avec le matériel de laboratoire (Koyunlu Ünlü et Dökme, 2011 ; Sarabando *et al.*, 2014). Pour avoir un impact significativement positif sur l'apprentissage des étudiants, l'utilisation de « Yummy Bunny ! » aurait peut être du être associée à un cours théorique sur les modèles de Lotka et Volterra car une séance de laboratoire n'est sans doute pas envisageable pour la matière abordée dans ce cas-ci. Cependant, selon Droui et El Hajjami (2015), une simulation informatique est l'outil idéal dans le cadre de l'apprentissage constructiviste car l'étudiant va apprendre par lui même le

fonctionnement d'un système en le manipulant et l'explorant. Pour Cox (2012), l'utilisation des simulations informatiques modifie ainsi le rôle de l'enseignant car les apprenants peuvent apprendre de manière plus autonome et dépendent moins des savoirs et de l'expertise de l'enseignant. De plus, certaines études ont montré que l'utilisation d'une simulation informatique pouvait être plus efficace sur l'apprentissage et la compréhension de la matière par les étudiants si ceux-ci pouvaient élaborer eux-mêmes leurs hypothèses ou si ils pouvaient choisir la démarche à effectuer pour résoudre un problème (Chang *et al.* 2008 ; Droui et El Hajjami, 2015 ; Windschitl et Andre, 1998, de Jong et Njoo, 1992).

Il est également important de faire remarquer que lors de la séance d'utilisation de la simulation, une introduction théorique aurait pu être bénéfique pour l'apprentissage de la matière car, pour Beaufils et Richoux (2003), l'impact d'une simulation sur les apprentissages ne peut être positif que lorsque les étudiants ont déjà une première connaissance du modèle concerné. De plus, selon Desgranges (1990), qui a testé une simulation informatique sur le modèle de prédation dans l'enseignement universitaire, une introduction théorique et des propositions de progression sont des conditions nécessaires pour que l'utilisation d'une simulation informatique soit efficace. L'auteur propose ainsi que les étudiants commencent par faire varier les paramètres des équations dans des situations simples et sont progressivement amenés à changer les paramètres un à un dans des situations plus complexes. Lors de la séance d'utilisation de la simulation, organisée dans le cadre de ce mémoire, les étudiants n'ont pas reçu de consignes particulières de la part de l'encadrant pour la manipulation des paramètres des différentes équations, mais un message apparaissant à la fin des niveaux sur la relation de prédation et de compétition suggérait qu'ils pouvaient ouvrir la fenêtre des équations et modifier les paramètres souhaités.

Enfin, des comptes-rendus (ou « debriefing ») réalisés avec l'encadrant, après chaque étape clé de « Yummy Bunny ! », comme les niveaux présentant les types de croissance démographique, la relation de prédation et la relation de compétition, aurait permit aux étudiants de réfléchir sur leur parcours et de dépasser certaines idées erronées qu'ils auraient sur les modèles mathématiques concernés (Qudrat-Ullah, 2004). Cette caractéristique sera à nouveau citée dans les prochaines parties de cette discussion.

Les simulations informatiques ne sont pas les seules TICE qui ont un impact positif sur l'apprentissage des étudiants. Tout d'abord, les autres logiciels tels que les jeux de simulation qui sont utilisés notamment dans les domaines de la gestion stratégique (Loon *et al.*, 2015) et commerciale (Ranchhod *et al.*, 2014) et les jeux sérieux qui sont, comme déjà

mentionné précédemment, utilisés dans des domaines et à des niveaux d'enseignement très variés (Tüzün *et al.*, 2009 ; Papastergiou, 2009 ; Mouaheb *et al.*, 2012 ; Lancaster, 2014). Ces types de logiciels peuvent non seulement favoriser l'apprentissage des étudiants mais les aider à développer des compétences telles que la prise de décision et la résolution de problèmes (Ranchhod *et al.*, 2014 ; Susi *et al.*, 2007). De plus, les jeux sérieux sont également favorables à l'apprentissage des étudiants en structurant les informations (Sauvé *et al.*, 2007a) mais certains jeux sérieux peuvent également fournir des « feedback » immédiat sur les actions des étudiants, favoriser leur participation active et leur permettre d'avoir un contrôle sur leur apprentissage (Sauvé, 2007b) de la même manière que les simulations informatiques. Dans l'enseignement supérieur, d'autres technologies sont utilisées pour favoriser l'apprentissage telles que les logiciels de présentation Powerpoint qui permettent de structurer les informations (Raby *et al.*, 2011 ; Savoy *et al.*, 2009) et les plateformes de cours en ligne qui fournissent des exercices et des informations supplémentaires en rapport avec la matière du cours (Raby *et al.*, 2011 ; Dori *et al.*, 2003). Enfin, un autre type de technologie, de plus en plus utilisée dans l'enseignement supérieur du fait des tailles de classe beaucoup plus importante, est le « télévoteur » ou système de réponses personnalisées. Cet outil permet essentiellement de fournir une rétroaction rapide aux étudiants, sous forme de diagrammes par exemple, de faire participer plus facilement les étudiants au cours du fait de l'anonymat des réponses mais il permet également aux professeurs d'adapter leur démarche d'enseignement si ils se rendent compte que les réponses des étudiants ne satisfont pas aux objectifs fixés (Dionne, 2012).

7.2. Analyse du parcours pédagogique

L'étude du parcours des étudiants au sein de la simulation informatique révèle qu'ils prennent trop rapidement leur décision sans prendre en compte tous les éléments utiles pour prédire le type d'accroissement démographique des populations animales représentées dans les niveaux 2 et 3. Les étudiants ont également montré des difficultés, dans le niveau 4 qui concerne la relation de prédation, à reconnaître le type d'accroissement démographique de la population de proies selon les conditions établies par le modèle mathématique de Lotka et Volterra (question 4-3, annexe V).

Différentes raisons peuvent expliquer les erreurs commises par ces étudiants. Pour les questions des niveaux 2 et 3 sur les accroissements démographiques, il se pourrait que les étudiants répondent à ces questions de manière impulsive : Ils n'aiment pas « attendre » et répondent sans se soucier de se tromper (Zakhartchouk et Castineaud, 1987).

L'impulsivité des étudiants peut en effet affecter leur capacité à prédire l'évolution de la population car ils n'analysent pas la situation qui leur est présentée avant de répondre ou encore parce qu'ils ont une perception partielle et une mauvaise interprétation des éléments à observer pour répondre à la question (Ruph, 2011). Il se pourrait enfin que les étudiants ne sachent tout simplement pas ce qu'ils doivent observer pour prédire l'évolution de la population de lapin, autrement dit, la quantité de ressources disponible pour la croissance de celle-ci (Laugier et Lefevre, 1993).

Pour éviter ces erreurs, des questions supplémentaires insistant sur la quantité des ressources disponibles pour les populations représentées, permettraient de guider les observations des étudiants et de leur fournir de manière plus précise les éléments qui leur permettraient de répondre aux questions sur les prévisions d'accroissement de la population.

Pour la question du niveau 4, sur l'équation de la croissance démographique de la population de proies, les étudiants pourraient ne pas avoir vu et pris en compte les mots essentiels de la question « Dans le modèle de Lotka et Volterra », ce qui représente une des difficultés spécifiques à la lecture des énoncés selon Zakhartchouk et Castineaud (1987). Les étudiants répondent donc à cette question en s'inspirant des questions décrites précédemment et pensent que l'accroissement démographique de la population de proies est soit représenté par une courbe logistique comme dans le niveau 3 où les ressources alimentaires sont en quantité limitée, soit représenté par une courbe sinusoïdale comme lorsque la population de proies est en présence des prédateurs et qu'ils ont observé sur le graphique au début du niveau. Il se pourrait donc également que les représentations préalables des étudiants les empêchent de déterminer les faits qui seraient pertinents pour répondre à cette question (Laugier et Lefevre, 1993).

Une solution à ce problème serait de mettre en évidence les mots « Dans le modèle de Lotka et Volterra » dans la question problématique du niveau 3 pour que les étudiants voient mieux le contexte dont ils doivent tenir compte pour choisir leur réponse. De plus, il serait intéressant de rappeler aux étudiants, dans le feedback de la réponse à cette question, que le modèle mathématique de Lotka et Volterra repose sur une version simplifiée et idéalisée de la réalité. Les étudiants doivent en effet de se rendre compte que certains facteurs ne sont pas pris en compte dans ce modèle de prédation et qui en font dès lors un modèle incomplet (limitation par des facteurs densité-dépendant de la population des proies lorsque les prédateurs sont absents, la maturité sexuelle des deux espèces, les techniques de chasse différentes des prédateurs en fonction des saisons, ...) (Kokko, 2007). Comme

mentionné dans la partie précédente, une séance de « debriefing » avec l'encadrant permettrait aussi de dépasser les idées fausses des étudiants (Qudrat-Ullah, 2004).

Enfin, faire travailler les étudiants par groupe pourrait permettre de les faire réfléchir ensemble, de partager leurs réponses et de prendre leurs décisions ensemble afin d'atteindre un but commun au groupe. Le travail collaboratif assure que les étudiants s'investissent activement pour comprendre la matière (Johnson *et al.*, 1989 ; Johnson *et al.*, 2014).

7.3. Impact sur la motivation des étudiants

La motivation des étudiants est un des facteurs les plus importants pour leur réussite scolaire et peut même être considéré comme le facteur clé, mais il nécessite l'implication de l'étudiant dans ses études, sa participation active au cours mais aussi qu'il s'applique dans ses travaux scolaires (Karsenti, 1997 ; Boekarts, 2010). La simulation « Yummy Bunny ! » pourrait avoir un impact positif sur l'apprentissage en favorisant la motivation des étudiants de l'université « constat » qui semblent enthousiastes à l'idée de pouvoir utiliser cette simulation informatique dans le cadre du cours d'écologie et y trouvent même un moyen de mieux apprendre et comprendre la matière.

En outre, il est d'autant plus important d'utiliser les technologies telles que les simulations informatiques actuellement pour favoriser la motivation des étudiants car ceux-ci font partie d'une génération appelée la « génération Y » ou « Digital natives » qui utilise quotidiennement un grand nombre de technologies différentes. Même si ces jeunes ont des accès et usages différents en fonction de leur milieu socioculturel d'origine, ils peuvent utiliser les technologies à des fins d'apprentissage. Cependant, lorsque c'est le cas, ils peuvent parfois ne pas tirer les avantages éducatifs de l'utilisation de certaines TIC. Les institutions éducatives devraient donc former les étudiants à cet usage éducatif afin de garantir un réel apprentissage à partir des TICE (Karsenti et Collin, 2013 ; Lai et Hong, 2015 ; Prensky, 2005).

Dans ce contexte, plusieurs études ont montré un impact positif des simulations informatiques sur la motivation à apprendre des étudiants et ont identifié les principales caractéristiques des simulations informatiques qui peuvent contribuer de manière importante à la motivation. Ces caractéristiques seront détaillées ci-dessous et illustrées par le cas de « Yummy Bunny ! ».

Tout d'abord, les simulations offrent des environnements d'apprentissage interactifs. Dans « Yummy Bunny ! » les étudiants peuvent changer les paramètres des équations et contrôler ainsi l'évolution et l'état final de la relation de prédation ou de compétition. Cette

interactivité et le contrôle sur la matière concernée sont reconnus comme des facteurs de motivation (Khan, 2011 ; Urhahne et Harms, 2006 dans Yaman *et al.*, 2008 ; Viau, 2005). La simulation « Yummy Bunny ! » est également programmée pour que les étudiants puissent faire d'autres choix comme les éléments de contenu dans le niveau « libre » où ils peuvent choisir eux-mêmes les organismes et les relations interspécifiques et enfin, ils peuvent choisir le temps qu'ils consacreront à l'utilisation de la simulation, ...

Ensuite, cette simulation a également la capacité d'offrir rapidement des commentaires et des encouragements à l'étudiant sur ses actions et ses réponses. En effet, à chaque bonne réponse, l'étudiant reçoit un message de réussite (« Exact ! », « Bonne réponse ! », ...) et la raison pour laquelle sa réponse est correcte lui est donnée. Ces éléments favorisent chez l'apprenant sa perception d'être capable de réussir (Viau, 2005) mais les incitent aussi à faire des efforts pour la suite du parcours (Kulhavy et Wager, 1993). Un caractère motivant a aussi pu être attribué à la réalisation d'un compte-rendu sur le parcours des apprenants par Qudrat-Ullah, 2004.

A travers la simulation « Yummy Bunny ! », les étudiants sont aussi face à un environnement « tolérant » vis-à-vis des erreurs commises, ils ont plusieurs essais pour la plupart des questions et ils peuvent alors rectifier leurs erreurs sans recevoir de jugement ou de critique par un être humain (Viau, 2005).

La structuration de « Yummy Bunny ! » en différents niveaux et la possibilité d'avoir accès au menu principal de la simulation permet aux étudiants de ne pas se sentir perdus dans leurs parcours (Viau, 2005). De plus, comme déjà mentionné dans la première partie de la discussion, les étudiants progressent au sein de la simulation à partir des niveaux les plus simples jusqu'aux plus complexes. Ce type de parcours permet aux étudiants de ne pas se sentir « dépassé » dès le début par une matière trop complexe (McKagan *et al.*, 2005). L'impact positif d'un environnement éducatif proposant la découverte progressive d'un phénomène, comme dans le cas de « Yummy Bunny ! », sur la motivation des étudiants a été démontré par Yaman *et al.* (2008).

Enfin, certaines simulations contribuent à favoriser l'intérêt des étudiants pour la matière en utilisant des exemples de la vie courante (McKagan *et al.*, 2008 ; Durán *et al.*, 2007 ; Jaubert, 2005), en rendant les étudiants actifs (Jaubert, 2005) et en résolvant les calculs complexes que certaines matière nécessite comme dans le domaine de la physique quantique ou de la thermodynamique (Jaubert, 2005 ; McKagan *et al.*, 2008).

Certains facteurs liés au contexte d'utilisation d'une simulation informatique peuvent

aussi être importants pour la motivation des étudiants comme le fait d'utiliser un ordinateur, de « jouer » avec la simulation informatique comme avec un jeu vidéo, de résoudre des problèmes et de travailler en équipe avec d'autres étudiants (Bertacchini *et al.*, 2012). Il peut cependant être défavorable pour la motivation d'utiliser une simulation informatique en autonomie car, pour certains étudiants, il est important de garder un contact humain en classe (Viau, 2005). De même, lors de l'enquête réalisée auprès des étudiants de l'université « constat », la plupart d'entre eux (65,2%) préfèrent que l'utilisation de la simulation informatique soit complétée par la présence d'un encadrant. Ceci pourrait également rejoindre ce qui a été dit précédemment : les étudiants devraient pouvoir être accompagnés d'une personne compétente, pas seulement au niveau fonctionnement du logiciel ou matériel utilisé mais également au niveau de la matière pour répondre aux questions éventuelles sur la matière concernée et qui pourra les conseiller sur la manière d'interagir avec les simulations informatiques.

Enfin, des TICE autres que les simulations informatiques sont souvent reconnues pour leur impact positif sur la motivation des apprenants, qu'il s'agisse des logiciels comme les jeux sérieux (Mouaheb *et al.*, 2012; Sanchez *et al.*, 2011; Tüzün *et al.*, 2009; Papastergiou, 2009 ; Fenouillet *et al.*, 2009) et les jeux de simulation (Liu *et al.*, 2011; Ranchhod *et al.*, 2014) ou des TICE sous forme matériel comme les ordinateurs portables (Karsenti et Collin, 2012), les tablettes numériques (Karsenti et Fievez, 2013) ou encore les tableaux blancs interactifs qui augmentent l'implication des apprenants durant les séances d'apprentissage (Beeland, 2002). Une autre étude a également mis en évidence une augmentation de l'implication des élèves en utilisant un programme qui leur permet de récolter des données météorologiques, de les partager avec leurs camarades et de poser des questions, en ligne, à des professionnels. Selon leur enquête, des élèves peu motivés au départ ont déclaré être prêt à passer plus de temps à travailler ce sujet (Mistler-Jackson et Songer, 2000). Dans l'enseignement supérieur, l'impact positif d'un cours médiatisé sur le Web sur la motivation des étudiants a été mis en évidence à travers le développement des sentiments d'autodétermination, de compétence et de filiation des étudiants. Pour l'auteur de cette étude, l'utilisation des TICE et particulièrement ce type de cours, correspond idéalement aux besoins et attentes de cette génération qui a connu la révolution technologique et les transformations sociétales survenues à la fin du dernier millénaire (Karsenti, 1997).

8. Conclusion

Dans le cadre de ce mémoire, il n'a pas été possible de mettre en évidence l'impact positif de la simulation informatique « Yummy Bunny ! » sur le gain de connaissances théoriques et de compréhension à court terme des modèles mathématiques de Lotka et Volterra concernant les interactions interspécifiques de compétition et de prédation. Cependant, le nombre limité d'étudiants participants ne permettait pas de mettre en évidence une différence significative entre les moyennes des étudiants. Plusieurs études ont pourtant put découvrir que certaines caractéristiques des simulations informatiques peuvent contribuer à améliorer l'apprentissage des modèles mathématiques concernés par les étudiants. Les simulations informatiques et notamment « Yummy Bunny ! », permettent de visualiser un système de manière dynamique et simplifiée et de comprendre pourquoi et dans quelle mesure la modification d'un paramètre dans une équation change l'évolution de ce système. De plus, la simulation informatique pourrait être utilisée en autonomie par les étudiants qui seraient alors capable de construire leurs connaissances par eux-mêmes.

L'enregistrement des réponses au QCM au sein de la simulation informatique permet de repérer des concepts ou compétences qui sont plus problématiques pour les étudiants comme la prédictions de l'évolution des populations et la notion même du modèle en science. L'analyse de ces enregistrements permet donc d'adapter, en conséquence, le contenu et la présentation de l'information pour aider les étudiants à surmonter ces difficultés.

Les résultats obtenus dans le cadre de ce mémoire montrent finalement que les étudiants semblent plus motivés à apprendre cette matière en utilisant « Yummy Bunny ! ». Il semblerait que des facteurs tels que la possibilité pour les étudiants de manipuler les paramètres des équations, de recevoir des rétroactions sur leurs réponses et de pouvoir contrôler leur apprentissage soient liés à cette augmentation de la motivation chez les étudiants. Ces facteurs motivants peuvent également contribuer à l'amélioration de l'apprentissage.

9. Perspectives

Au vu des résultats obtenus, il apparaît qu'un suivi sur plusieurs années et avec un plus grand nombre de participants pourrait rendre compte de l'impact que peut avoir l'utilisation de cette technologie sur l'apprentissage des étudiants. Ce suivi pourrait être

réalisé auprès des étudiants de l'Université de Namur et de l'Université catholique de Louvain mais aussi auprès des étudiants de l'Université libre de Bruxelles, de l'Université de Liège et de l'Université de Mons. L'utilisation de la simulation informatique en groupes d'étudiants pourrait également être envisagée afin de leur permettre de réfléchir ensemble et de ne pas prendre de décision trop rapidement quand aux réponses aux questions posées. En effet, les principales difficultés rencontrées sont liées au manque d'attention et de réflexion des étudiants qui répondent sans se soucier de se tromper ou qui ne savent tout simplement pas ce qu'ils doivent observer.

Les étudiants de l'université « constat » ont été les seuls à avoir rempli la grille d'évaluation de la simulation informatique. Il serait intéressant de soumettre cette grille aux étudiants de l'université « expérience » pour vérifier si leur avis sur les avantages potentiels de la simulation informatique sur leur apprentissage se traduit dans les résultats aux tests et si le type de cours auxquels ils ont assisté influence cet avis par rapport aux étudiants de l'université « constat ».

Comme dit précédemment, les étudiants de l'université « expérience » n'ont pas souhaité répondre une nouvelle fois aux questionnaires après avoir eu accès à la simulation informatique pour le groupe « contrôle » et à la vidéo du cours pour le groupe « expérimental ». Il serait intéressant de tester si l'utilisation de la simulation informatique « Yummy Bunny ! », en complément à un cours traditionnel, pourrait être avantageuse pour l'apprentissage théorique et la compréhension de la matière. Si le nombre d'étudiants participant le permet, les questionnaires pourraient être soumis à 3 groupes d'étudiants : un groupe ayant seulement assisté à un cours traditionnel, un groupe ayant seulement utilisé la simulation et un troisième groupe qui a assisté au cours mais qui a également utilisé la simulation informatique.

Des améliorations sont également à apporter à la simulation informatique au niveau technique comme une amélioration de l'affichage de certains graphiques pour que les étudiants puissent mieux encore visualiser la dynamique de deux populations animales en interaction l'une avec l'autre ainsi que la résolution d'un problème technique qui cause l'annulation de certains paramètres lorsque la fenêtre des équations est ouverte une seconde fois. Il serait également intéressant de pouvoir proposer un feedback lorsque les étudiants donnent une mauvaise réponse au dernier essai de chaque question car actuellement, après avoir utilisé tous les essais accordés, les étudiants passent directement à la question suivante.

Enfin, lors de l'enquête auprès des étudiants de l'université « constat », un étudiant a fait remarquer qu'il serait intéressant d'inclure également le modèle mathématique de Nicholson et Bailey qui s'applique aux interactions entre proies et prédateurs mais aussi entre hôtes et parasitoïdes. Ce modèle pourrait être décrit dans un niveau composé de deux sous-niveaux différents et consacrés chacun à un type d'interaction (hôte-parasitoïde et proie-prédateur). Ce niveau contenant des paramètres supplémentaires par rapport au modèle de Lotka et Volterra pourrait se situer après le niveau concernant la relation de prédation.

Bibliographie

Abdulwahed, M., & Nagy, Z. K. 2011. The TriLab, a novel ICT based triple access mode laboratory education model. *Computers & Education*, *56*(1), 262-274.

Alluin, F. 2010. Les technologies de l'information et de la communication (TIC) en classe au collège et au lycée : éléments d'usages et enjeux. *Les dossiers, 197. Ministère de l'Éducation nationale. Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance*, 85 p.

Anderson, J. L., & Barnett, M. 2013. Learning Physics with Digital Game Simulations in Middle School Science. *Journal of Science Education and Technology*, *22*(6), 914–926. http://doi.org/10.1007/s10956-013-9438-8

Attenoukon, S. A., Karsenti, T., & Gervais, C. 2013. Impact des TIC sur la motivation et la réussite des étudiants Enquête à l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin. *Revue Internationale Des Technologies En Pédagogie Universitaire*, *10*(2), 66–75.

Beaufils D. & Richoux B. 2003. Un schéma théorique pour situer les activités avec des logiciels de simulation dans l'enseignement de la physique. *Didaskalia*, 23, 9-38.

Beeland, W. D. 2002. Student engagement, visual learning and technology: Can interactive whiteboards help. In *Annual Conference of the Association of Information Technology for Teaching Education*.

Begon M., Townsend C.R. et Harper J.L. 2005. Ecology : From Individuals to Ecosystems, 4th Edition. *Wiley-Blackwell*. 752p.

Bernard, F.-X., Weil-Barais, A., & Caillot, M. 2006. Les jeunes enfants peuvent-ils acquérir des connaissances sur le monde physique en utilisant un simulateur ? *Aster*, *43*, 17–34. http://doi.org/10.4267/2042/16800

Bertacchini, F., Bilotta, E., Pantano, P., & Tavernise, A. 2012. Motivating the learning of science topics in secondary school: A constructivist edutainment setting for studying Chaos. *Computers & Education*, *59*(4), 1377-1386.

Bodur, B., & Guichard, J. 2006. Simuler un phénomène biologique: Cas de la flexion-extension du bras. *Aster*, *43*, 35–56. http://doi.org/10.4267/2042/16801

Boekaerts, M. 2010. Chapitre 4 – Motivation et émotion : deux piliers de l'apprentissage en classe. OCDE – Comment apprend-on ? : La recherche au service de la pratique. *Éditions OCDE*, 97-120.

Bouchaib, A., & Benjelloun, N. 2011. Impacts des TIC sur l'enseignement et l'apprentissage des conceptions relatives au champ électrostatique en classes préparatoires aux grandes écoles d'ingénieurs (CPGE). *Revue Internationale Des Technologies En Pédagogie Universitaire*, *8*(3), 66–84.

Bruillard, E. 1997. Des tuteurs intelligents aux environnements interactifs. In *Les machines à enseigner*. Editions Hermès, Paris, 320p.

Chang, K. E., Chen, Y. L., Lin, H. Y., & Sung, Y. T. 2008. Effects of learning support in simulation-based physics learning. *Computers & Education*, *51*(4), 1486-1498.

Collin, S., & Karsenti, T. 2013. Usages des technologies en éducation: analyse des enjeux socioculturels. *Éducation et francophonie*, *41*(1), 192-210.

Couture M., et Meyor C. 2008. Simulations informatiques adisciplinaires et résolution de problèmes ouverts: une étude exploratoire auprès d'étudiants en formation des maîtres. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire*. **5(2)**. 50-67.

Cox, M. 2012. Informatique et apprentissage des sciences: tendances, dilemmes et conséquences pour l'avenir. *RDST*, *6*, 23–52.

Cumyn, L. 2004. Using Technology to Bridge Learning in Groups. *International Journal of Technologies in Higher Education*, *1*(1), 45–48.

de Jong, T., & Njoo, M. 1992. Learning and instruction with computer simulations: Learning processes involved. In E. de Corte, M. Linn, H. Mandl & L. Verschaffel (Eds.), *Computer-based learning environments and problem solving* (pp. 411-427). Berlin, Germany : Springer-Verlag.

de Jong, T., & Van Joolingen, W. R. 1998. Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of educational research*, *68*(2), 179-202.

Desgranges, J.-C. 1990. Proposition pédagogique sur un modèle écologique à l'université. *Bulletin de l'EPI (Enseignement Public et Informatique)*, 57, 125-136.

De Vries, E. 2001. Les logiciels d'apprentissage : panoplie ou éventail ? *Revue Française de Pédagogie*, *137*, 105–116. http://doi.org/10.3406/rfp.2001.2851

Dewhurst, D. G., Hardcastle, J., Hardcastle, P. T., & Stuart, E. 1994. Comparison of a computer simulation program and a traditional laboratory practical class for teaching the principles of intestinal absorption. *Am J Physiol 267*, 95-104.

Dionne, E. 2012. Les systèmes à réponses personnalisées (SRP) : un atout pour faire de l'évaluation formative en salle de classe? *Mesure et évaluation en éducation, 35*(1), 47-65.

Djaouti, D. 2011. *Serious Game Design: Considérations théoriques et techniques sur la création de jeux vidéo à vocation utilitaire. PhD thesis, Université Toulouse III Paul Sabatier.*

Dori, Y. J., Barak, M., & Adir, N. 2003. A Web-based chemistry course as a means to foster freshmen learning. *Journal of Chemical Education*, 80(9), 1084-1092.

Durán, M. J., Gallardo, S., Toral, S. L., Martínez-Torres, R., & Barrero, F. J. 2007. A learning methodology using Matlab/Simulink for undergraduate electrical engineering courses attending to learner satisfaction outcomes. *International Journal of Technology and Design Education, 17*(1), 55-73.

Fang, N. 2012. Using computer simulation and animation to improve student learning of engineering dynamics. *Procedia-Social and Behavioral Sciences, 56*, 504-512.

Fenouillet, F., Kaplan, J., & Yennek, N. 2009. Serious games et motivation. Le Mans. In *S. George, E. Sanchez. (eds.) 4ème Conférence francophone sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH'09)*, 41-52.

Finkelstein, N. D., Adams, W. K., Keller, C. J., Kohl, P. B., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S., Reid, S., & LeMaster, R. 2005. When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research, 1*, 1-8.

Gibbons, N. J., Evans, C., Payne, A., Shah, K., & Griffin, D. K. 2004. Computer simulations improve university instructional laboratories. *Cell Biology Education, 3*(4), 263–269. http://doi.org/10.1187/cbe.04-06-0040

Hassan, R. 2008. L'écriture au tableau dans le travail enseignant: approche didactique. *Proceedings of the International Conference «de la France au Québéc. L'écriture dans tous ses états». Poitiers, France.* pp. 12-15.

Hebenstreit, J. 1992. Une rencontre du troisième type : Simulation et pédagogie. *Paru dans* L'intégration de l'informatique dans l'enseignement et la formation des enseignants *; actes du colloque des 28-29-30 janvier 1992 au CREPS de Châtenay-Malabry, édités par Georges-Louis Baron et Jacques Baudé ; coédition INRP-EPI, 1992*, p. 80-87.

Howe, R. et Ménard, L. 1994. Croyances et pratiques en évaluation des apprentissages. *Pédagogie collégiale*, 7(3), 21-27.

Jaubert, J. N. 2005. Présentation du logiciel DiagSim permettant de faciliter l'enseignement de la thermodynamique technique. *Revue Internationale des Technologies en Pédagogie Universitaire*, *2*(2), 34-47.

Johnson, D. W., Johnson, R. T., & Smith, K. A. 1989. *Cooperative learning*. Interaction Book Company.

Johnson, D. W., Johnson, R. T., & Smith, K. A. 2014. Cooperative learning: Improving university instruction by basing practice on validated theory. *Journal on Excellence in University Teaching*, *25*(4).

Karsenti, T. 1997. Comment le recours aux TIC en pédagogie universitaire peut favoriser la motivation des étudiants : le cas d'un cours médiatisé sur le Web. *Nouveaux cahiers de la recherche en éducation*, *4*(3), 455-484.

Karsenti, T., & Bruchesi, O. 2015. Non, les tablettes ne nuisent pas à la lecture. *Vivre le primaire*, *28*(1), 22-24.

Karsenti, T., & Collin, S. 2012. *Avantages et défis inhérents à l'usage des ordinateurs portables au primaire et au secondaire : Résultats de la 2e enquête auprès de la Commission scolaire Eastern Townships. Synthèse des principaux résultats. CRIFPE.*

Karsenti, T., & Fievez, A. 2013. l'iPad à l'école: usages, avantages et défis. *Sommet de l'iPad en éducation, Montréal, CRIFPE.*

Kestemont, P. 2015. *Ecologie générale (partie 5) : Ecologie des communautés, SBIO B212*. Syllabus, Université de Namur, URBE.

Khan, S. 2011. New pedagogies on teaching science with computer simulations. *Journal of Science Education and Technology*, *20*(3), 215-232.

Kokko, H. 2007. Modelling for field biologists and other interesting people. *Cambridge University Press.*

Koyunlu Ünlü, Z., & Dökme, I. 2011. The effect of combining analogy-based simulation and laboratory activities on Turkish elementary school students' understanding of simple electric circuits. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, *10*(4), 320–329.

Koyunlu Ünlü, Z., & Dökme, İ. 2015. 7th Grade Students' Views on Combining the use of Computer Simulations and Laboratory Activities in Science Teaching. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *191*, 1173–1177. http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.258

Krebs, C.J. 2009. Ecology : The Experomental Analysis of Distribution and Abundance : International Edition, Sixth Edition. *Pearson*. 688p.

Kulhavy, R.W., & Wager, W. 1993. Feedback in programmed instruction: Historical context and implications for practice. In J.V. Dempsey & G.C. Sales (Eds.), Interactive instruction and feedback, (pp. 3-20). Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.

Lai, K. W., & Hong, K. S. 2015. Technology use and learning characteristics of students in higher education: Do generational differences exist? *British Journal of Educational Technology*, *46*(4), 725-738.

Lancaster, R. J. 2014. Serious game simulation as a teaching strategy in pharmacology. *Clinical Simulation in Nursing*, *10*(3), e129–e137. http://doi.org/10.1016/j.ecns.2013.10.005

Laugier, A., & Lefèvre, R. 1993. Prévoir et observer le fait expérimental au cours moyen. Aster, 16, 143-170.

Le Bars, M., Le Grusse, P., Allaya, M., Attonaty, J. M., & Mahjoubi, R. 2004. NECC : un jeu de simulation pour l'aide à la décision collective. Application à une région méditerranéenne virtuelle". *Actes Du Séminaire Modernisation de l'Agriculture Irriguée, Rabat*, 13.

Lebrun, M. 2004. La formation des enseignants universitaires aux TIC: allier pédagogie et innovation. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire*, *1*(1), 11-21.

Leclère, P., Simonnot, B., Barcenilla, J., & Dinet, J. 2007. Les freins à l'intégration des TICE en classe. *TICE Méditerranée*, 1–11.

Likert, R. 1932. A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 140, 55p.

Liu, C. C., Cheng, Y. B., & Huang, C. W. 2011. The effect of simulation games on the learning of computational problem solving. *Computers & Education*, *57*(3), 1907-1918.

Loisier, J. 2015. Étude sur l'apport des jeux sérieux pour la formation à distance au Canada francophone. *Réseau d'enseignement francophone à distance du Canada*, 122p.

Loon, M., Evans, J., & Kerridge, C. 2015. Learning with a strategic management simulation game: A case study. *The International Journal of Management Education*, *13*(3), 227-236

McKagan, S. B., Perkins, K. K., Dubson, M., Malley, C., Reid, S., LeMaster, R., & Wieman, C. E. 2008. Developing and researching PhET simulations for teaching quantum mechanics. *American Journal of Physics*, *76*(4), 406-417.

Marfisi-Schottman, I., George, S., Tarpin-Bernard, F., & Prévot, P. 2012. Comment évaluer la qualité d'un Learning Game pendant sa conception ? In *Technologies de l'information et de la communication pour l'enseignement, Lyon, France* (pp. 80–90).

Marien, B., & Beaud, J. P. 2003. Guide pratique pour l'utilisation de la statistique en recherche. Le cas des petits échantillons. *Réseau Sociolinguistique et dynamique des langues. Agence universitaire de la Francophonie.*

Mistler-Jackson, M., & Songer, N. B. 2000. Student motivation and Internet technology: Are students empowered to learn science ? *Journal of Research in Science Teaching*, *37*(5), 459-479.

Mouaheb, H., Fahli, A., Moussetad, M., & Eljamali, S. 2012. The Serious Game: What Educational Benefits? *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *46*, 5502–5508. http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.465

Nonnon, É. 2004. Travail visible et invisible: la trace écrite au tableau. *Recherches*, *41*, 17-30.

Papastergiou, M. 2009. Digital game-based learning in high school computer science education: Impact on educational effectiveness and student motivation. *Computers & Education*, *52*(1), 1-12.

Perkins, K., Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S., Wieman, C., & LeMaster, R. 2006. PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics. *The Physics Teacher*, *44*(1), 18-23.

Prensky, M. 2005. Listen to the natives. *Educational leadership*, *63*(4).

Qudrat-Ullah H. 2004. Improving dynamic decision making through debriefing: An empirical study. Proceedings IEEE International Conference on advanced learning technologies. Finland: ICALT.

Raby, C., Karsenti, T., Meunier, H., & Villeneuve, S. 2011. Usages des TIC en pédagogie universitaire: point de vue des étudiants. *Revue Internationale Des Technologies En Pédagogie Universitaire*, *8*(3), 6–19.

Ranchhod, A., Gurău, C., Loukis, E., & Trivedi, R. 2014. Evaluating the educational effectiveness of simulation games: A value generation model. *Information Sciences*, *264*, 75–90. http://doi.org/10.1016/j.ins.2013.09.008

Reamon, D., & Sheppard, S. 1997. The role of simulation software in an ideal learning environment. « *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conferences.*

Ricklefs R.E. et Miller G.L. 2005. Ecologie, 6th Edition. *De Boeck*. 858p.

Rieber, L. P. 1996. Animation as feedback in a computer-based simulation: Representation matters. *Educational technology research and development*, *44*(1), 5-22.

Riou, B., & Landais, P. 1998. Principes des tests d'hypothèse en statistique: α, β et P. In *Annales francaises d'anesthesie et de reanimation* 17(9) p. 1168-1180.

Ruph, F. 2011. Guide de réflexion sur les stratégies d'apprentissage à l'université. Québec, Canada : Presses de l'Université du Québec.

Sanchez, E., Ney, M., & Labat, J.-M. 2011. Jeux sérieux et pédagogie universitaire : de la conception à l'évaluation des apprentissages. *Revue Internationale Des Technologies En Pédagogie Universitaire*, *8*(1-2), 48–57.

Sarabando, C., Cravino, J. P., & Soares, A. A. 2014. Contribution of a Computer Simulation to Students' Learning of the Physics Concepts of Weight and Mass. *Procedia Technology*, *13*, 112–121. http://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.02.015

Sauvé, L., Renaud, L., & Gauvin, M. 2007a. Une analyse des écrits sur les impacts du jeu sur l'apprentissage. *Revue Des Sciences de L'éducation*, *33*(1), 89–107. http://doi.org/10.7202/016190ar

Sauvé, L., Renaud, L., Kaufman, D., & Marquis, J. S. 2007b. Distinguishing between games and simulations: A systematic review. *Educational Technology & Society, 10* (3), 247-256.

Savoy, A., Proctor, R. W., & Salvendy, G. 2009. Information retention from PowerPoint and traditional lectures. *Computers and Education*, *52*(4), 858–867. http://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.12.005

Smith T.M. et Smith R.L. 2009. Elements of Ecology, 7th Edition. *Pearson International Edition*. 649p.

Susi, T., Johannesson, M., & Backlund, P. 2007. *Serious Games – An Overview. Technical report HIS-IKI-TR-07-001. University of Skvde.*

Szilas, N., & Sutter Widmer, D. 2009. Mieux comprendre la notion d'intégration entre l'apprentissage et le jeu. *Actes d'Environnements Informatiques Pour l'Apprentissage Humain EIAH09*, 27–40. Retrieved from http://tecfa.unige.ch/perso/szilas/papers/Szilas_Sutter_EIAHSG2009.pdf

Temiz, İ., & Akuner, C. 2009. Comparison of traditional education to computer aided education: simulation of three-phase rotating area in an induction machine. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *1*(1), 1825-1833.

Trestini, M. 2012. Causes de non-usage des TICE à l'Université : des changements ? Cas des enseignants du supérieur. *Recherches & éducations*, 6, 15-33.

Trey, L., & Khan, S. 2008. How science students can learn about unobservable phenomena using computer-based analogies. *Computers and Education*, *51*(2), 519–529. http://doi.org/10.1016/j.compedu.2007.05.019

Tüzün, H., Yilmaz-Soylu, M., Karakuş, T., Inal, Y., & Kizilkaya, G. 2009. The effects of computer games on primary school students' achievement and motivation in geography learning. *Computers and Education*, *52*(1), 68–77. http://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.06.008

Viau, R. 2000. Des conditions à respecter pour susciter la motivation des élèves. *Correspondance*, *5*(3), 1–5.

Villeneuve, S. 2004. Les logiciels de présentation en pédagogie: Efficacité de l'utilisation des logiciels de présentation en pédagogie universitaire. *International Journal of Technologies in Higher Education*, *1*(1), 49–53.

Vincke, G., Bihin, B., Wauthy, A-C., Al Zind, E., Vervoort, A., & Depiereux, E. 2014. Suivi des apprentissages au moyen d'évaluations formatives par questions à choix multiples diffusées sur le Web par le logiciel eTests. *Revue Internationale Des Technologies En Pédagogie Universitaire*, *11*(1), 19-34.

Weaver, D., Spratt, C., & Nair, C. S. 2008. Academic and student use of a learning management system: Implications for quality. *Australasian Journal of Educational Technology*, *24*(1), 30–41.

Webb, M., & Cox, M. 2004. A review of pedagogy related to information and communications technology. *Technology, Pedagogy and Education*, *13*(3), 235–286. http://doi.org/10.1080/14759390400200183

Windschitl, M., & Andre, T. 1998. Using computer simulations to enhance conceptual change: The roles of constructivist instruction and student epistemological beliefs. *Journal of research in science teaching*, 35(2), 145-160.

Xenos, M., & Smyrnaiou, Z. 2011. L'usage d'un micro-monde pour apprendre la programmation en LOGO. Georges-Louis Baron, Eric Bruillard, Vassilis Komis. Sciences et technologies de l'information et de la communication en milieu éducatif : Analyse de pratiques et enjeux didactiques. Patras, Greece. Athènes : New Technologies Editions, pp.79-80.

Yaman, M., Nerdel, C., & Bayrhuber, H. 2008. The effects of instructional support and learner interests when learning using computer simulations. *Computers and Education, 51*(4), 1784–1794. http://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.05.009

Yourstone, S. A., Kraye, H. S., & Albaum, G. 2008. Classroom questioning with immediate electronic response: Do clickers improve learning?. *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, *6*(1), 75-88.

Zakhartchouk, J.-M., & Castineaud F. 1987. Lecture d'énoncés et de consignes. *CRDP*. 121p.

Webographie

Breakaway, Ltd. 2012. Serious Games for healthcare markets. Accès en ligne le 05 mai 2015, http://www.breakawaygames.com/serious-games/solutions/healthcare/

Bracewell, R. & Laferrière, T. 1996. L'apport des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) à l'apprentissage des élèves du primaire et du secondaire, revue documentaire. Accès en ligne le 27 mai 2015, http://www.tact.fse.ulaval.ca/fr/html/apport/apport96.html

Chabanet C., & Dessaint F. 2015. Déterminer la taille des échantillons notion sous-jacente : puissance d'un test. Accès en ligne le 20 avril 2016, http://informatique-mia.inra.fr/r4ciam/sites/ciam.inra.fr.r4ciam/files/Tutoriels/Puissance-v3.pdf

CREO inc. 2009. Forestia. Accès en ligne le 27 mai 2015, http://www.scienceenjeu.com/forestia/index.php

Daedalic Entertainment. 2012. A New Beginning. Accès en ligne le 05 mai 2015, http://www.daedalic.de/en/Game/A_New_Beginning?lang_new=en

Droui M. et El Hajjami A. 2015. Simulation et apprentissage par investigation. 1ère Edition du Workshop International sur les Approches Pédagogiques & E-Learning. Accès en ligne le 27 avril 2016, http://www.est-usmba.ac.ma/apel2015/proceeding/docs/E15C08.pdf

Entertainment Software Association. 2015. 2015 : Sales, demographic and usage data - Essential facts about the computer and video game industry. Accès en ligne le 06 mai 2015, http://www.theesa.com/wp-content/uploads/2015/04/ESA-Essential-Facts-2015.pdf

Fenouillet, F. 1999. La motivation à l'école. Apprendre autrement aujourd'hui ? Cité des Sciences et de l'Industrie, Paris. Accès en ligne le 09 juin 2015, http://bernard.lefort.pagesperso-orange.fr/documents_captures/motivation_ecole.pdf

Forsans, E. 2015. Le marché français du jeu vidéo en 2014. Accès en ligne le 06 mai 2015, http://www.afjv.com/news/4783_le-marche-francais-du-jeu-video-en-2014.htm

FranceTV. 2014. Sauvons le Louvre ! Dans la peau de Jacques Jaujard : Le serious game qui vous fait entrer dans l'histoire. Accès en ligne le 05 mai 2015, http://www.louvre.fr/sites/default/files/medias/medias_fichiers/fichiers/pdf/louvre-communique-de-presse-jeu-sauvons-le-louvre.pdf

Grenoble Campus Ouvert. 2004. Les dossiers thématiques du projet GRECO : TICE et QCM. Accès en ligne le 10 octobre 2015, https://tice.ujf-grenoble.fr/system/files/TICE/qcm_outils_ds.pdf

Interactive Digital Software Association. 2003. 2003 : Sales, demographic and usage data - Essential facts about the computer and video game industry. Accès en ligne le 06 mai 2015, http://firestone.princeton.edu/econlib/Gaming/2003.pdf

International Strategy for Disaster Reduction. s.d. Halte aux Catastrophes ! Jeu de simulations de catastrophes naturelles créé par l'ONU/ISDR. Accès en ligne le 18 mai 2015, http://www.stopdisastersgame.org/fr/home.html

Karsenti, T. 2015. 25 usages éducatifs des textos à l'école secondaire. Montréal: CRIFPE. Accès en ligne le 26 mai 2015, http://karsenti.ca/25textos.pdf

Karsenti, T. 2014. 25 principaux avantages du livre numérique. Montréal : CRIFPE. Accès en ligne le 26 mai 2015, http://karsenti.ca/25ebook.pdf

Kasbi, Y. 2011. A New Beginning, un Serious Game au secours de la planète. Accès en ligne le 05 mai 2015, http://blog.seriousgame.be/a-new-beginning-un-serious-game-au-secours-de-la-plante

Kasbi, Y. 2014a. Vis ma vue, un Serious Game de sensibilisation aux troubles visuels. Accès en ligne le 05 mai 2015, http://blog.seriousgame.be/vis-ma-vue-un-serious-game-de-sensibilisation-aux-troubles-visuels

Kasbi, Y. 2014b. Un Serious Game de sensibilisation contre le harcèlement à l'école. Accès en ligne le 05 mai 2015, http://blog.seriousgame.be/un-serious-game-de-sensibilisation-contre-le-harclement-lcole

Larose, Y. 2011. Une forêt virtuelle à gérer. Accès en ligne le 05 mai 2015, http://www.lefil.ulaval.ca/articles/une-foret-virtuelle-gerer-33002.html

Loumé, L. 2016. Diabète : un serious game dans l'univers de Lucky Luke. Accès en ligne le 13 mai 2016, http://www.sciencesetavenir.fr/sante/diabete/20160128.OBS3543/diabete-un-serious-game-dans-l-univers-de-lucky-luke.html

Natagora. 2016. Nowatera : une planète entre tes mains. Accès en ligne le 13 mai 2016, http://www.nowatera.be

Rosario J. 2005. Les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC). Leur usage en tant que Outil pour le Renforcement et le Développement de l'Education Virtuelle. Accès en ligne le 04 mai 2015, http://www.aedev.org/docajout/stage%20traduction/TIC%20et%20education.pdf

Sauvé, L. 2008. Concevoir des jeux éducatifs en ligne : un atout pédagogique pour les enseignants. Extraits de Communication du Colloque Scientifique Ludovia. Accès en ligne le 08 avril 2015, http://www.ludovia.com/2008/12/concevoir-des-jeux-educatifs-en-ligne-un-atout-pedagogique-pour-les-enseignants/

SPF Economie, Direction Générale Statistique et Information Economique. 2007. Statistiques sur les technologies de l'information et de la communication (TIC). Enquête auprès de la population belge. Accès en ligne le 04 mai 2015, http://statbel.fgov.be/fr/binaries/p760y2007_fr_tcm326-33421.pdf

SPF Economie, P.M.E., Classes moyennes et Energie. 2014. Baromètre de la société de l'information. Accès en ligne le 26 mai 2015, http://economie.fgov.be/fr/binaries/Barometre_de_la_societe_de_l_information_2014_tcm326-254860.pdf

Tralalere. 2014. Fiche d'accompagnement du serious game « Stop la violence ! ». Accès en ligne le 05 mai 2015, http://www.stoplaviolence.net/sites/default/files/stoplaviolence_fiche_accompagnement.pdf

Viau, R. 2005. 12 questions sur l'état de la recherche scientifique sur l'impact des TIC sur la motivation à apprendre. Université de Sherbrooke. Accès en ligne le 07 avril 2016, http://tecfa.unige.ch/perso/lombardf/iufe/teaching/motivation/viau-motivation-tic.html

Annexes

Annexe I : Grille d'évaluation de la simulation

Évaluation de la simulation

Pour chaque affirmation, coche la case qui correspond le mieux :

	Pas du tout d'accord	Pas d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord
Le contenu théorique de la simulation est complet.				
L'organisation de la simulation au niveau de la succession des niveaux est bonne.				
Les questions posées dans la simulation sont compréhensibles.				
Les questions posées dans la simulation permettent une compréhension de la matière.				
La présentation des équations et des graphiques dans les fiches matières est claire.				
La présentation des équations et des graphiques dans les fenêtres de la simulation est claire.				
L'utilisation de la simulation est une plus-value pour l'enseignement de ces concepts.				
Il y a assez de consignes pour explorer toutes les situations possibles de la simulation.				
Les liens donnant accès aux fiches et aux graphiques sont clairement indiqués.				
L'utilisation de la simulation devrait être complétée par la présence d'un encadrant.				
L'apprentissage de la matière sous forme de simulation est plus motivante.				
La compréhension de la matière serait meilleure par l'utilisation de la simulation.				
L'utilisation de la simulation vous préparerait mieux à l'examen.				
Au vu des concepts traités, l'apprentissage par la simulation vous semble plus adéquat que de suivre un cours théorique.				

Autres remarques :

Annexe II : Questionnaire évaluant les connaissances théoriques

N° carte étudiant :
(Ce test reste anonyme, le numéro de carte d'étudiant nous permet simplement de faire correspondre les réponses aux deux questionnaires qui vous seront soumis)

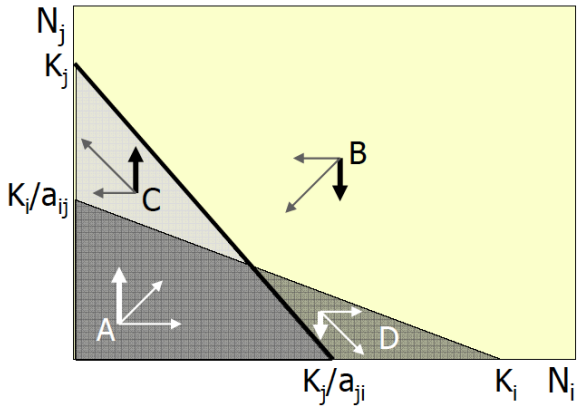
Etude de l'apprentissage des modèles mathématiques de compétition et de prédation (Lotka et Volterra)

1. Le modèle de compétition

1.1. Explique ce que représente le coefficient « a_{ji} ».

1.2. Quelle est l'équation permettant de calculer l'effectif à l'équilibre d'une population i soumise à la compétition avec une population j ?

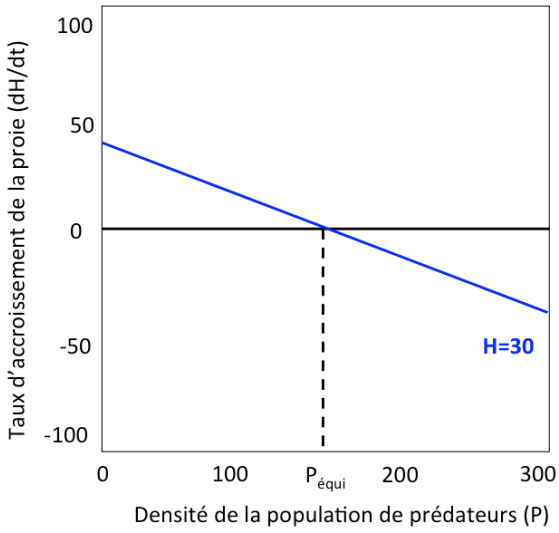
1.3. Dans la situation suivante, quelle espèce éliminera l'autre ?



- Celle qui présente la plus grande capacité limite du milieu
- Celle qui présente le plus grand coefficient de compétition
- Celle qui présente la plus grande densité initiale
- Toutes les réponses sont correctes
- Toutes les réponses sont fausses
- Je ne sais pas

2. Le modèle de prédation

2.1. Trace l'évolution du taux d'accroissement d'une population de proie pour laquelle H=50 :



2.2. Que représente $P_{équilibre}$? Quelle est la formule permettant de le calculer ?

2.3. Quelle est l'équation du taux de croissance de la population de prédateurs ? Définis les facteurs intervenant dans celle-ci.

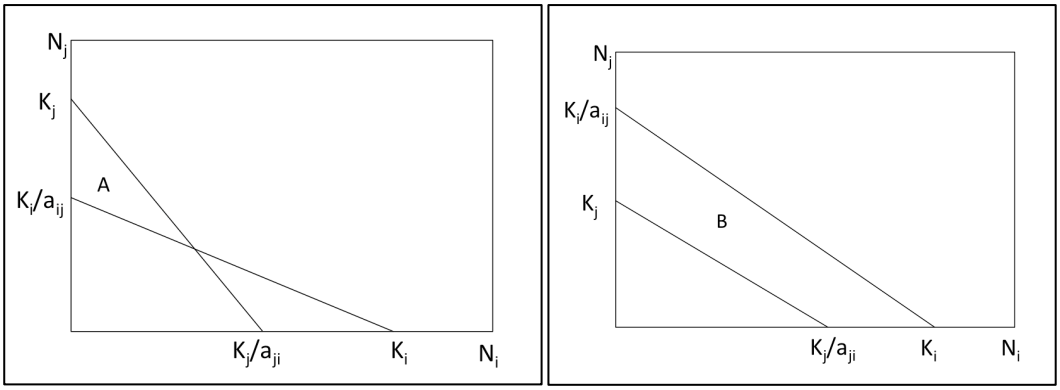
Annexe III : Questionnaire évaluant la compréhension

N° carte étudiant :
(Ce test reste anonyme, le numéro de carte d'étudiant nous permet simplement de faire correspondre les réponses aux deux questionnaires qui vous seront soumis)

Etude de la compréhension des modèles mathématiques de compétition et de prédation (Lotka et Volterra)

1. Le modèle de compétition

1.1. Selon le modèle de Lotka et Volterra, quelle sera l'évolution de deux populations en compétition dans chacune de ces zones. Justifie ton choix dans chaque cas.



Comment les populations évoluent-elles dans la surface marquée A?

- Ni augmente et Nj diminue
- Ni diminue et Nj augmente
- Ni et Nj augmentent
- Ni et Nj diminuent
- Je ne sais pas

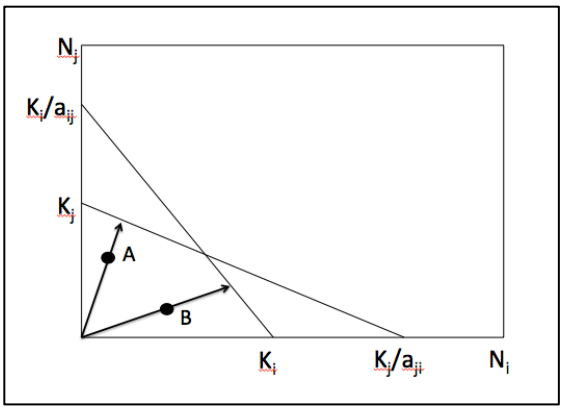
Justification :

Comment les populations évoluent-elles dans la surface marquée B ?

- Ni augmente et Nj diminue
- Ni diminue et Nj augmente
- Ni et Nj augmentent
- Ni et Nj diminuent
- Je ne sais pas

Justification :

1.2. Observe le graphique suivant :



- Quelle situation parmi les suivantes s'applique au point A ?
  - $K_j < K_i$
  - $r_i < r_j$
  - $a_{ij} < a_{ji}$
  - $N_j < N_i$
  - Toutes les réponses sont vraies
  - Toutes les réponses sont fausses
  - Je ne sais pas

Justification :

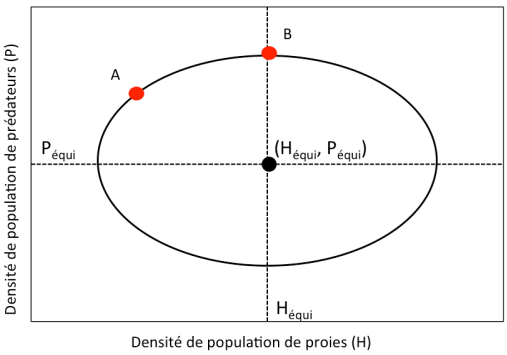
- Que se passe-t-il lorsque l'on passe de la situation au point A à la situation au point B ?
  - K_i augmente
  - a_{ij} diminue
  - N_i augmente
  - r_i diminue
  - Toutes les réponses sont vraies
  - Toutes les réponses sont fausses
  - Je ne sais pas

Justification :

2. Le modèle de prédation

2.1. Quelle est l'influence de la densité en proies sur l'accroissement de la population des prédateurs ? Développe ta réponse en utilisant l'équation du taux de croissance de la population des prédateurs.

2.2. Selon le modèle de Lotka et Volterra, quelle sera l'évolution des populations de proies et de prédateurs dans chacune de ces zones. Justifie ton choix dans chaque cas.



Comment les populations évoluent-elles dans la surface marquée A?

- P augmente et H diminue
- P diminue et H augmente
- P augmente et H ne varie pas
- P diminue et H ne varie pas
- H augmente et P ne varie pas
- H diminue et P ne varie pas
- P et H augmentent
- P et H diminuent
- Je ne sais pas

Justification :

Annexe IV : Rapports entre les résultats et la moyenne générale

Tableau 1 : Résultats des étudiants du 3ème bloc annuel en Bachelier en sciences biologiques pendant l'année académique 2015-2016 aux questionnaires évaluant les connaissances théoriques et la compréhension de la matière corrigés en fonction des moyennes générales obtenues par chacun des étudiants aux examens de l'année académique 2014-2015.

	Noma de l'étudiant	Théorie	Compréhension
Simulation informatique	7518-13-00	0,38	0,55
	7140-13-00	0,42	0,35
	5305-11-00	0,50	0,27
	3341-13-00	0,30	0,42
Moyenne		**0,40**	**0,40**
Variance		**0,01**	**0,01**
Cours test	4534-13-00	0,57	0,22
	3714-12-00	0,67	0,74
	2542-11-00	1,09	1,11
	9422-12-00	0,16	0
	7270-12-00	1,18	1,41
Moyenne		**0,73**	**0,70**
Variance		**0,17**	**0,35**

Tableau 2 : Résultats des étudiants du 3ème bloc annuel en Bachelier en sciences biologiques pendant l'année académique 2015-2016 aux questionnaires évaluant les connaissances théoriques et la compréhension du modèle mathématique de prédation de Lotka et Volterra. Ces résultats sont corrigés en fonction des moyennes générales obtenues par chacun des étudiants aux examens de l'année académique 2014-2015.

	Noma de l'étudiant	Théorie	Compréhension
Simulation informatique	7518-13-00	0	0,63
	7140-13-00	0,23	0,47
	5305-11-00	0,48	0
	3341-13-00	0,25	0
Moyenne		**0,24**	**0,28**
Variance		**0,04**	**0,11**
Cours test	4534-13-00	1,29	0,78
	3714-12-00	0,49	0,74
	2542-11-00	0,24	0
	9422-12-00	0,26	0
	7270-12-00	1,31	1,14
Moyenne		**0,72**	**0,53**
Variance		**0,29**	**0,26**

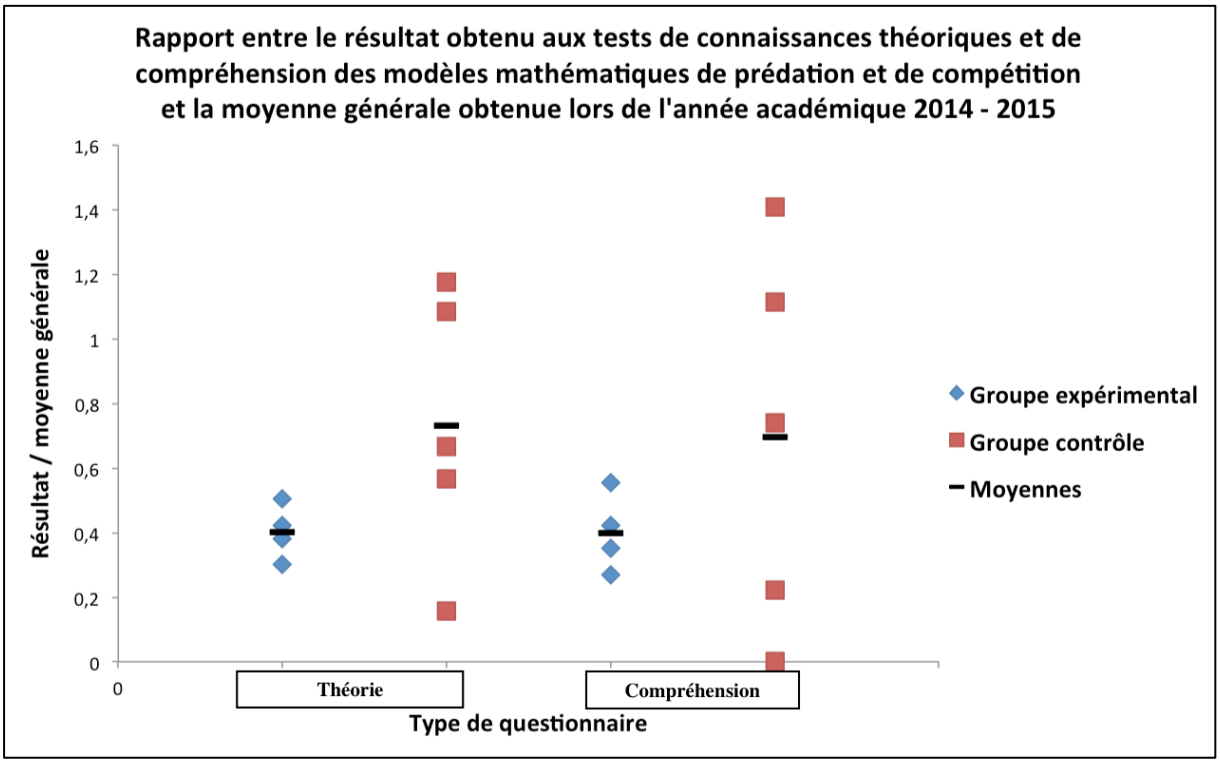


Figure 15 : Résultats obtenus aux tests évaluant les connaissances théoriques (20 points) et la compréhension (20 points), des groupes « contrôle » et « expérimental » corrigés en fonction des moyennes générale obtenues aux examens de l'année académique 2014 - 2015. Les tests t de Student réalisés n'ont pas mis en évidence une différence significative entre les moyennes des deux groupes pour les connaissances théoriques (t(4,415)=1,7312, p=0,1517) et la compréhension (t(4,41)=1,0984, p=0,3283) de la matière.

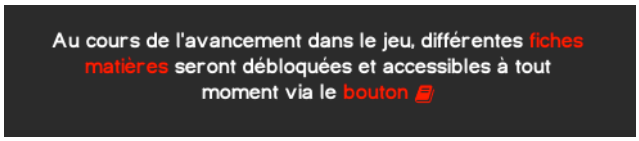
Annexe V : Captures d'écran contextualisées des fenêtres apparaissant dans les différents niveaux de la simulation informatique « Yummy Bunny ! »

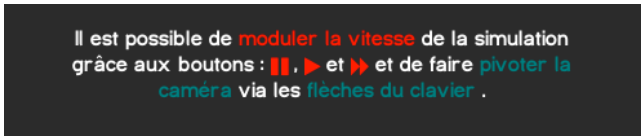
Niveau 1

Méthodes d'estimation de la taille d'une population

Succession de ces quatres fenêtres:

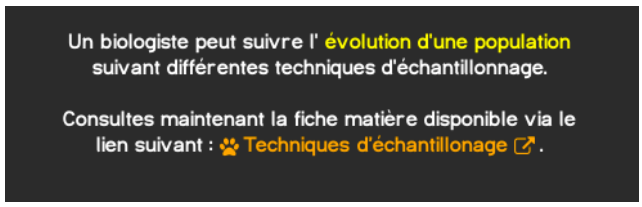




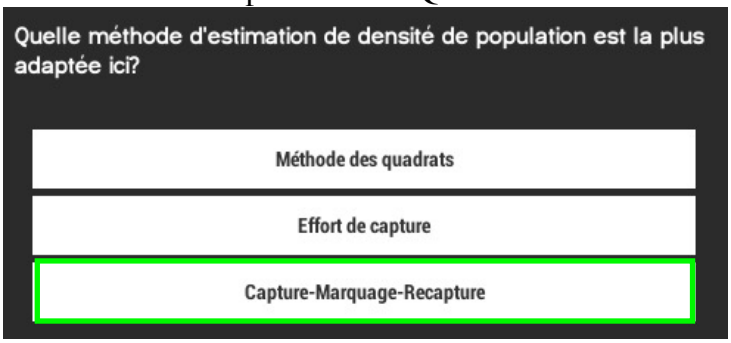




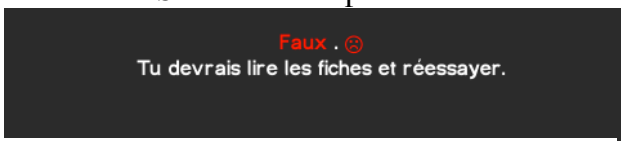
Fiche « Techniques d'échantillonnage » débloquée



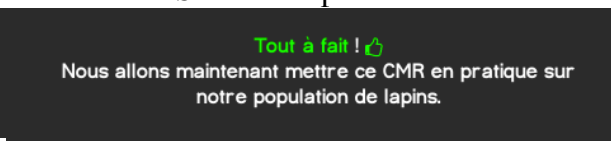
Question 1-1 : Après la lecture de la fiche sur les techniques d'échantillonnage, les étudiants répondent à ce QCM à 3 essais :

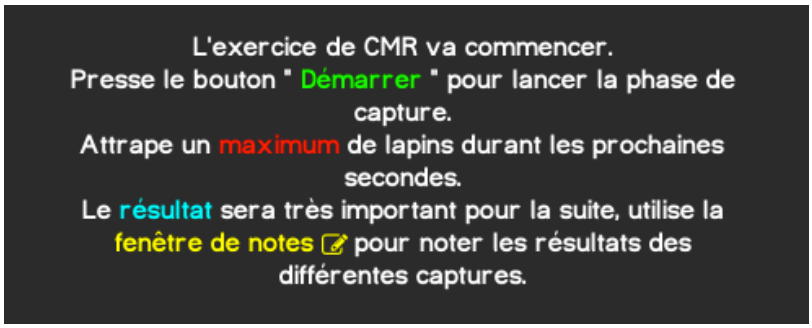


Si mauvaise réponse :



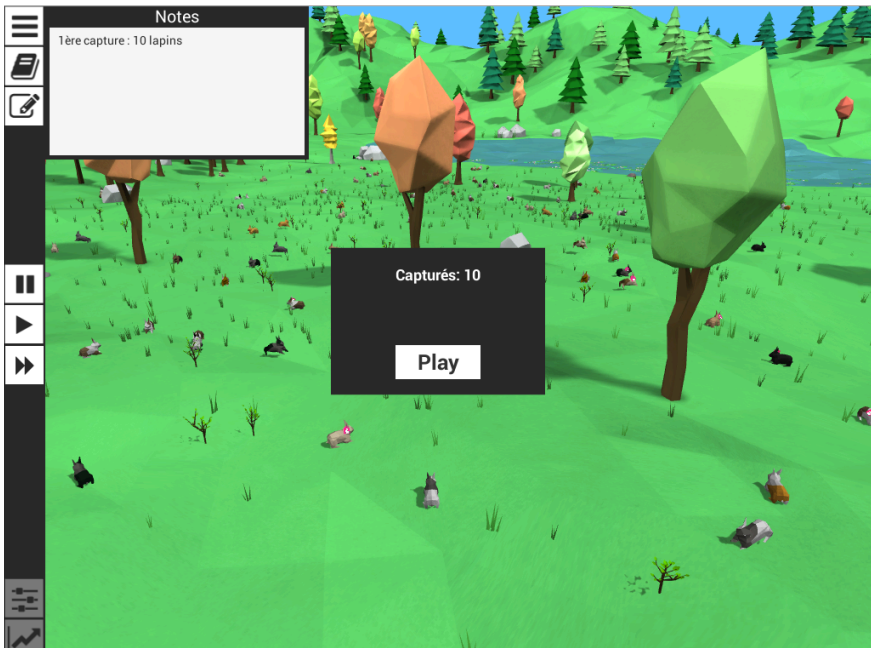
Si bonne réponse :

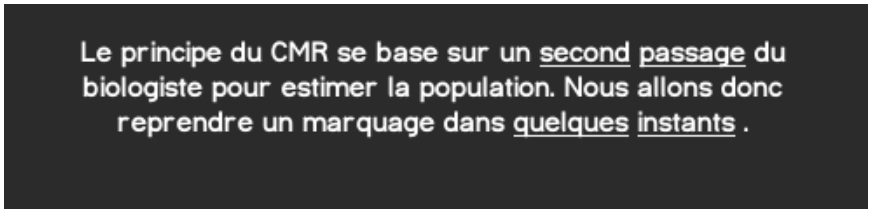




CMR : 1ère capture

Les étudiants doivent cliquer sur un maximum d'individus qui seront alors marqués d'une même couleur. Une fenêtre « Notes » est disponible pour qu'ils puissent sauvergarder leur résultat.





CMR : 2ème capture

Les étudiants réalisent le même exercice que précédemment mais les individus attrapés sont marqués d'une autre couleur.

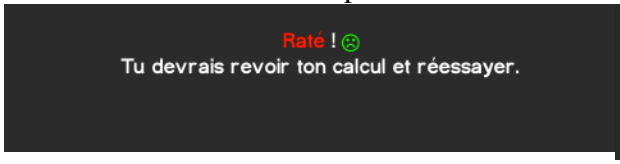


Question 1-2 : Estimation à 5 essais

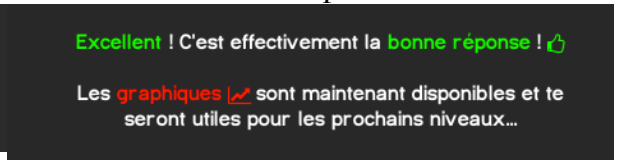
Les étudiants enregistrent leur estimation, si ils n'ont pas noté le nombre d'individus marqués à chaque capture, ils ont la possibilité de recommencer l'exercice de CMR via le bouton « J'ai oublié de noter mes résultats »



Si mauvaise réponse :

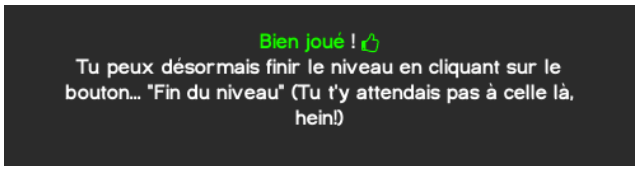


Si bonne réponse :



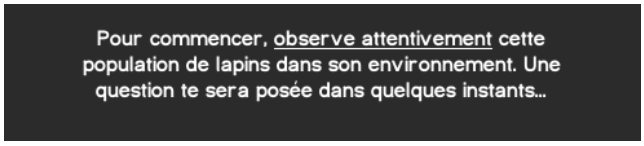
Déblocage du graphique :
Le bouton donnant accès au graphique devient fonctionnel : Les étudiants ont la possibilité de suivre en temps réel l'évolution de la densité de lapins

Fin du niveau



Niveau 2

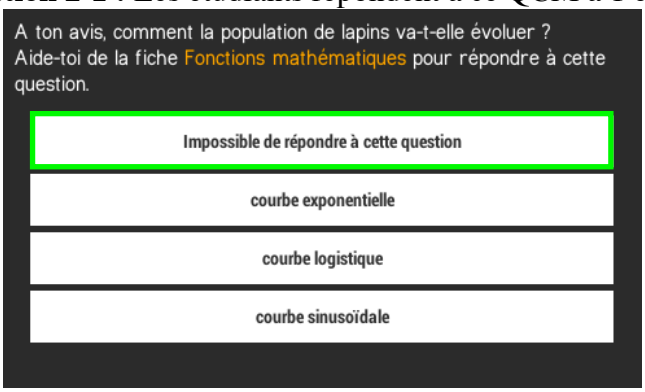
Croissance démographique exponentielle d'une population de lapins



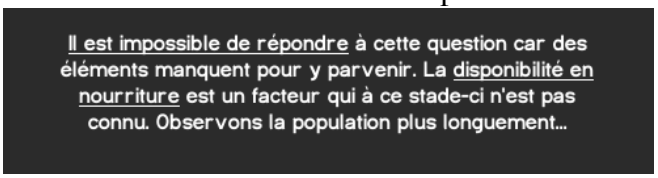
Pluies de carottes pendant 2 secondes

Fiche « Fonctions mathématiques » débloquée

Question 2-1 : Les étudiants répondent à ce QCM à 1 essai :

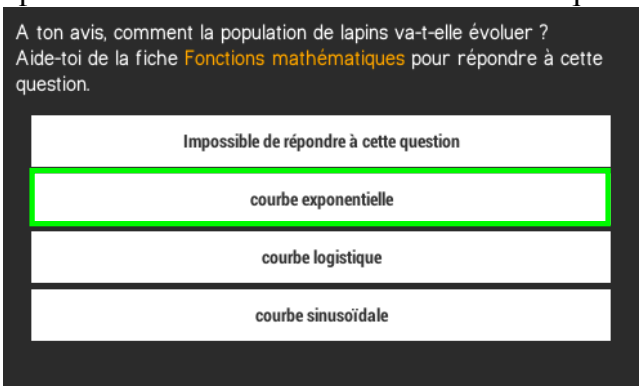


Si bonne ou mauvaise réponse :



Pluie de carottes pendant 15 secondes

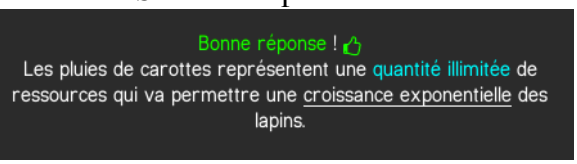
Question 2-2 : Les étudiants répondent à ce QCM à 4 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Fonctions mathématiques »



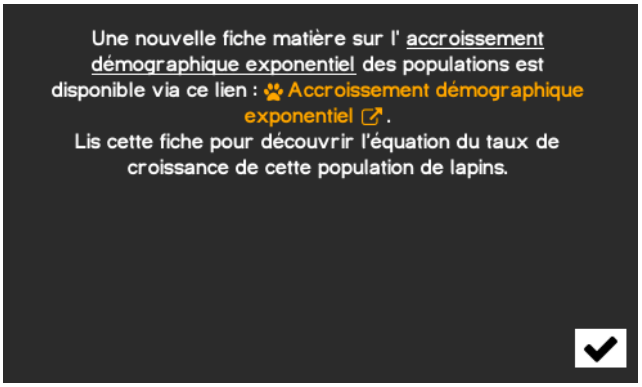
Si mauvaise réponse :



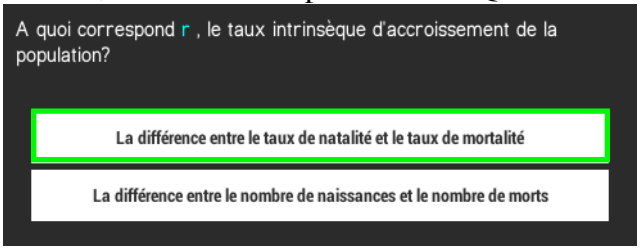
Si bonne réponse :



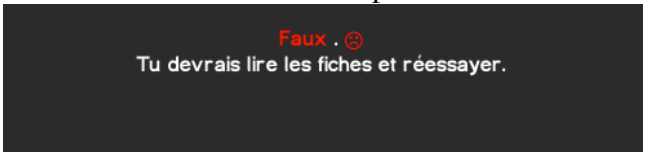
Fiche « Accroissement démographique exponentiel » débloquée



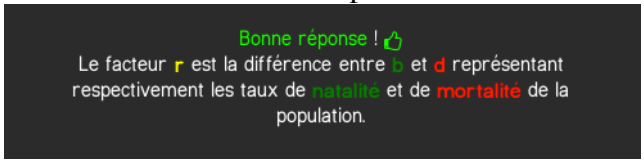
Question 2-3 : Après la lecture de la fiche sur l'équation de l'accroissement démographique exponentiel, les étudiants répondent à ce QCM à 2 essais :



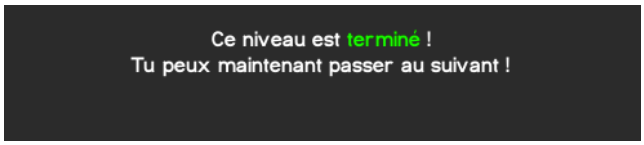
Si mauvaise réponse :



Si bonne réponse :



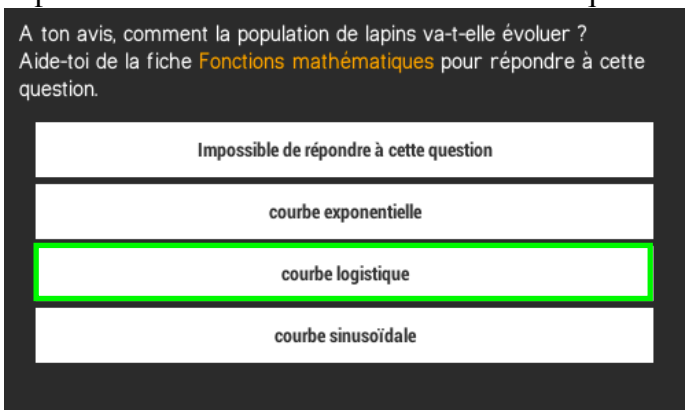
Fin du niveau



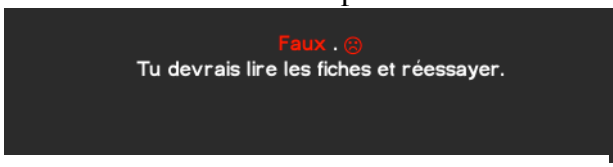
Niveau 3

Croissance démographique logistique d'une population de lapins

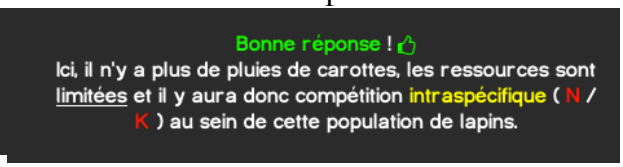
Question 3-1 : Les étudiants répondent à ce QCM à 4 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Fonctions mathématiques » :



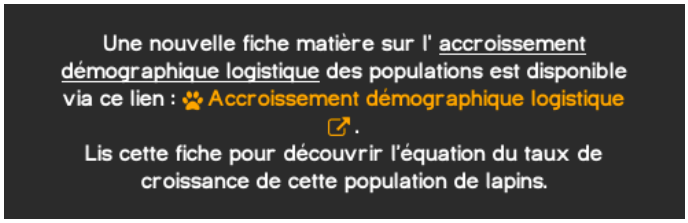
Si mauvaise réponse :



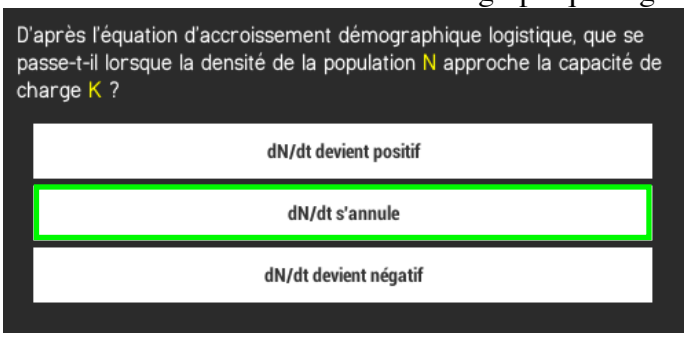
Si bonne réponse :



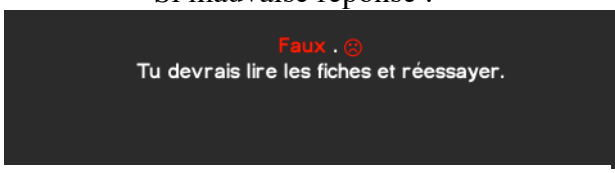
Fiche « Accroissement démographique logistique » débloquée



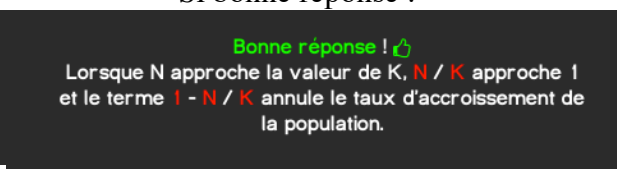
Question 3-2 : Les étudiants répondent à ce QCM à 3 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Accroissement démographique logistique » :



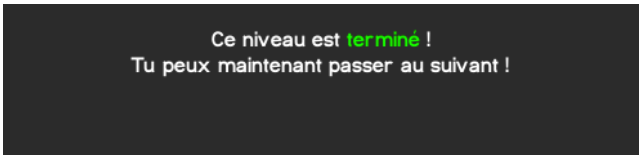
Si mauvaise réponse :



Si bonne réponse :



Fin de niveau

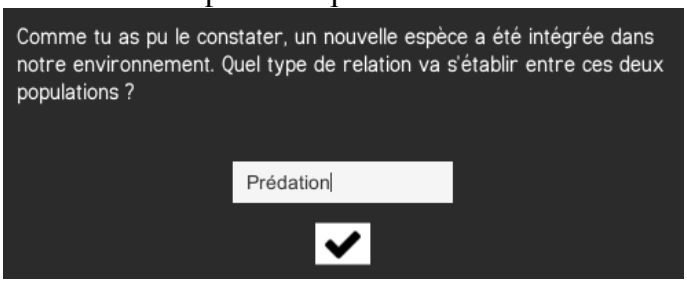


Niveau 4 : Prédation

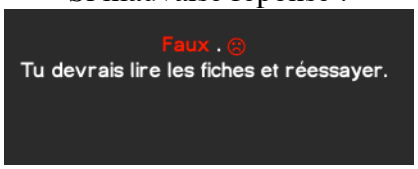
La population de lapins est en présence d'une population de loups

Fiche « Interactions interspécifiques » débloquée

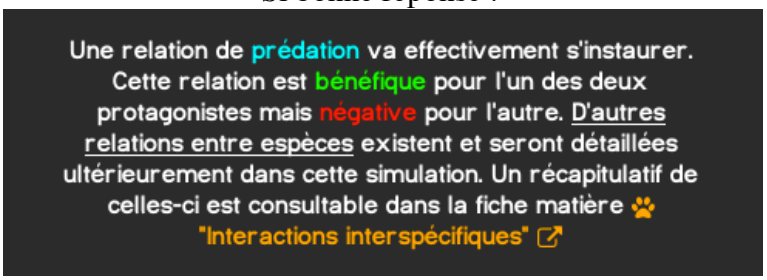
Question 4-1 : Les étudiants déduisent le type de relation interspécifique qui sera présentée dans ce niveau par cette question ouverte à 8 essais :



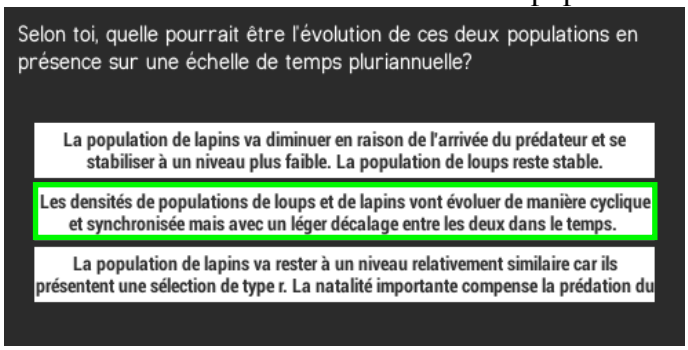
Si mauvaise réponse :

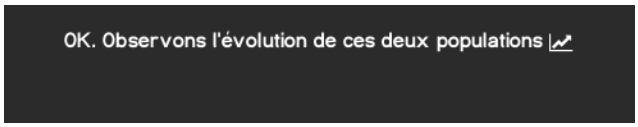


Si bonne réponse :

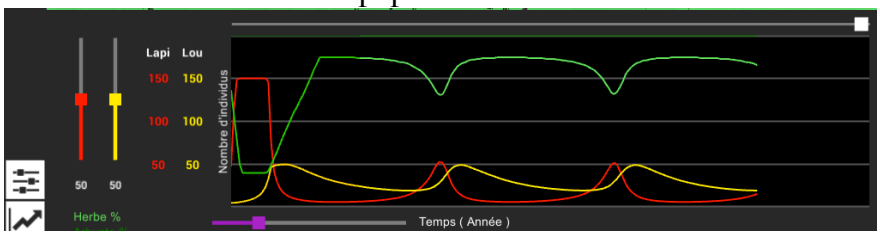


Question 4-2 : QCM à 1 essai : la réponse est enregistrée et la correction de celle-ci vient après l'observation de l'évolution des densités des populations animales.





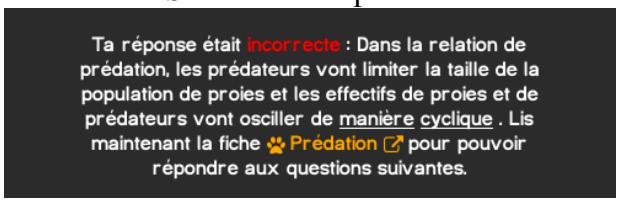
Les étudiants ouvrent la fenêtre des graphiques et observent l'évolution des densités des populations :



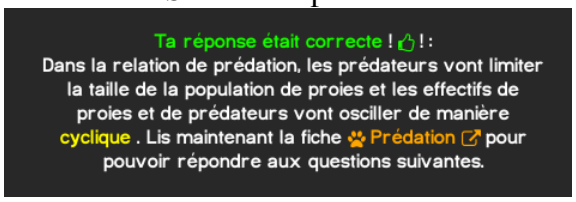
Après 3 cycles : **Fiche « Prédation » débloquée**

Correction de la réponse du QCM précédent :

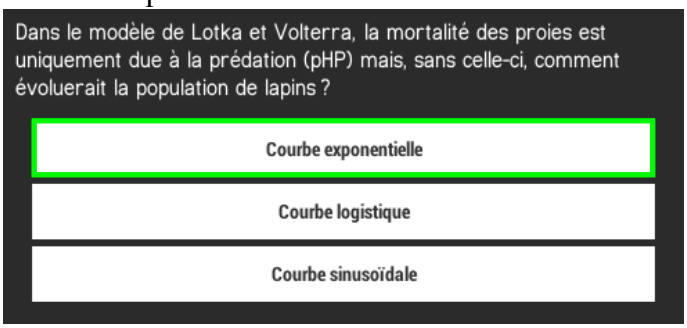
Si mauvaise réponse :



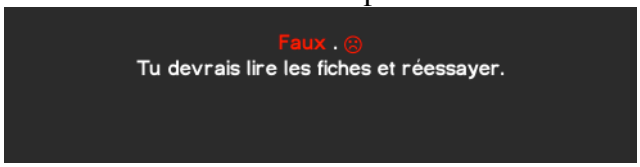
Si bonne réponse :



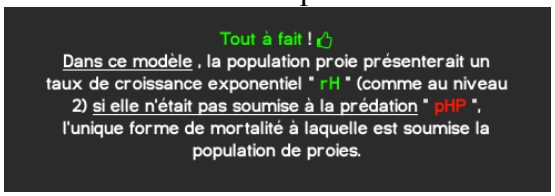
Question 4-3 : Les étudiants répondent à ce QCM à 3 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Prédation »



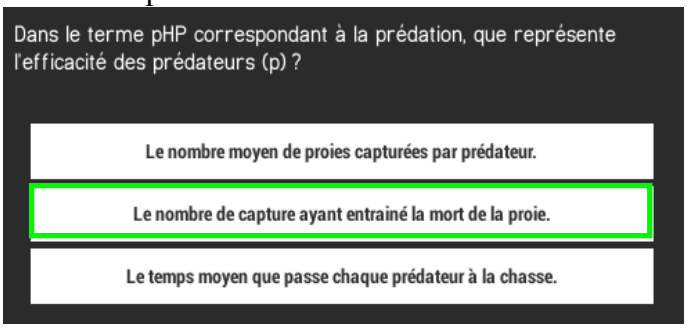
Si mauvaise réponse :



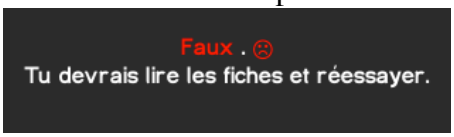
Si bonne réponse :



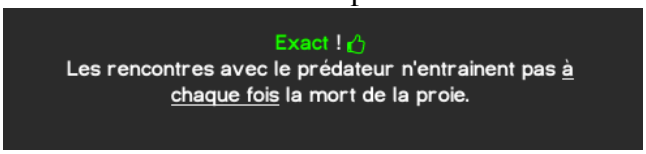
Question 4-4 : Les étudiants répondent à ce QCM à 3 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Prédation »



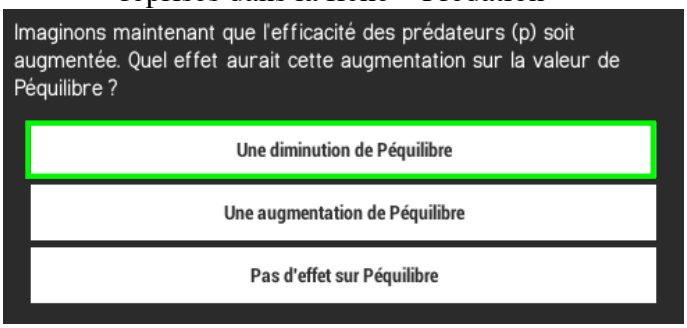
Si mauvaise réponse :



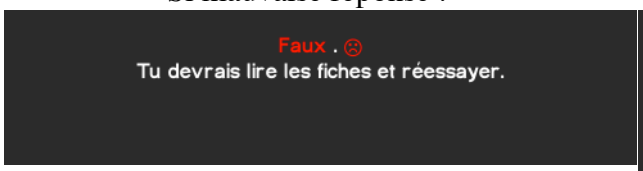
Si bonne réponse :



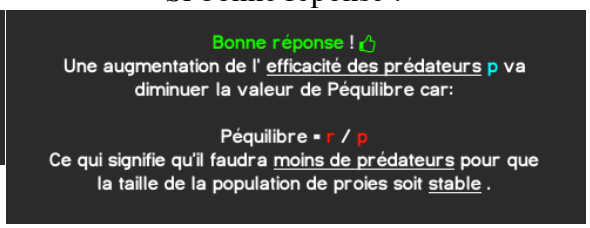
Question 4-5 : Les étudiants répondent à ce QCM à 3 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Prédation »



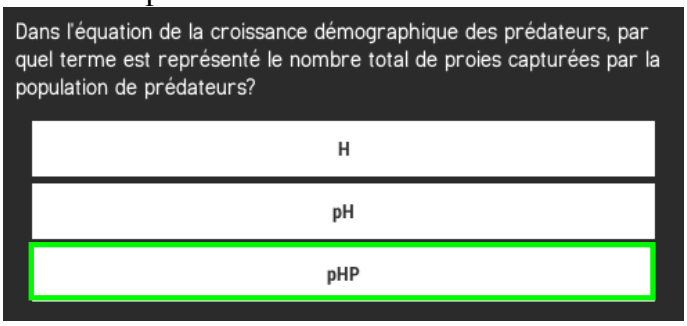
Si mauvaise réponse :



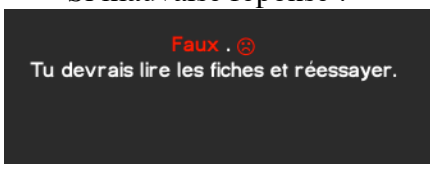
Si bonne réponse :



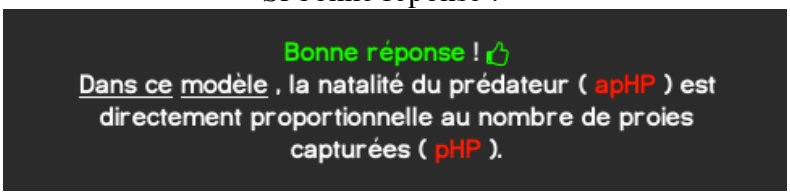
Question 4-6 : Les étudiants répondent à ce QCM à 3 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Prédation »



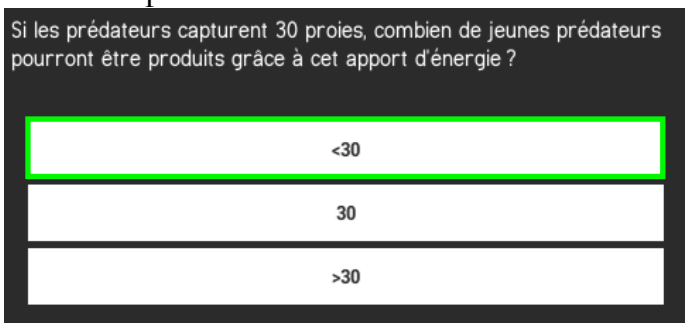
Si mauvaise réponse :



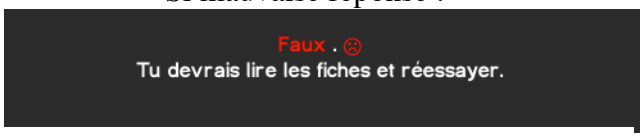
Si bonne réponse :



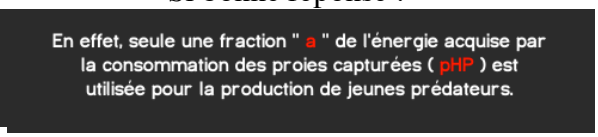
Question 4-7 : Les étudiants répondent à ce QCM à 3 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Prédation »



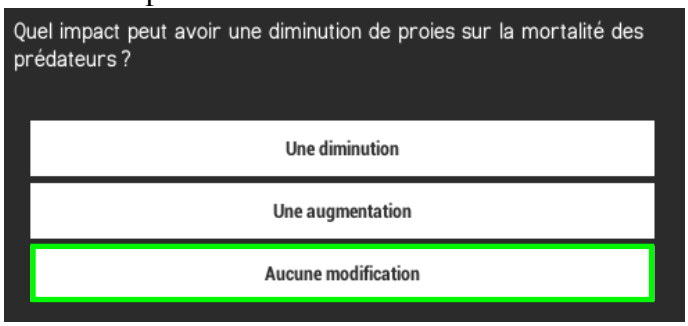
Si mauvaise réponse :



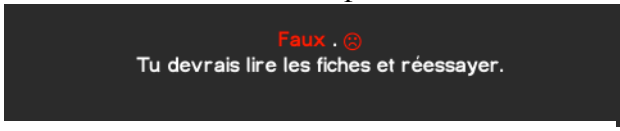
Si bonne réponse :



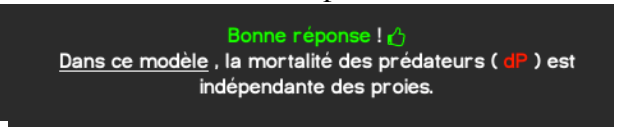
Question 4-8 : Les étudiants répondent à ce QCM à 3 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Prédation »



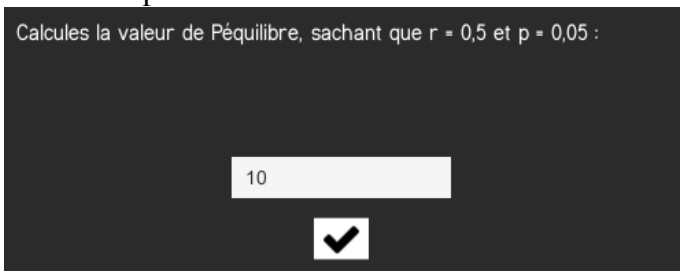
Si mauvaise réponse :



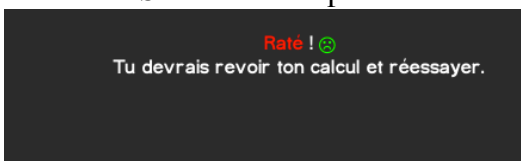
Si bonne réponse :



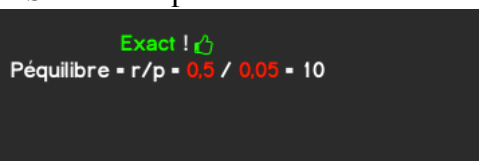
Question 4-9 : Les étudiants répondent à ce QCM à 3 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Prédation »



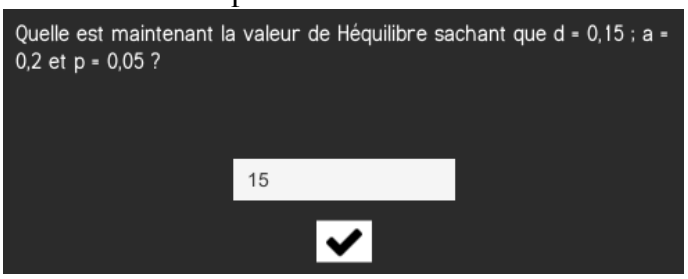
Si mauvaise réponse :



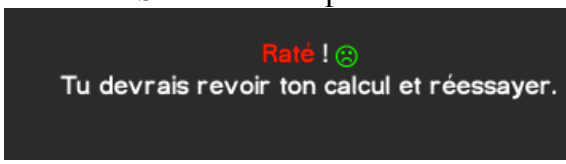
Si bonne réponse :



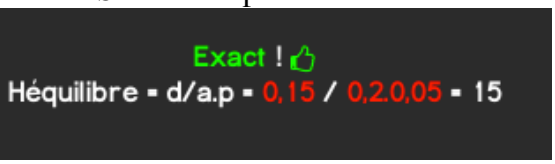
Question 4-10 : Les étudiants répondent à cette question ouverte à 3 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Prédation »

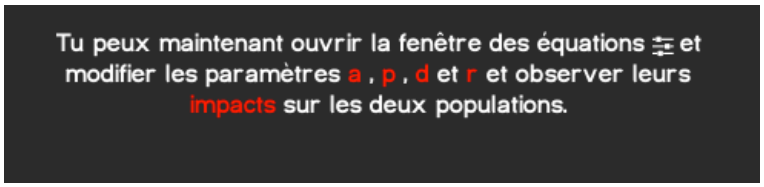


Si mauvaise réponse :



Si bonne réponse :





Fin du niveau

Niveau 5 : Compétition

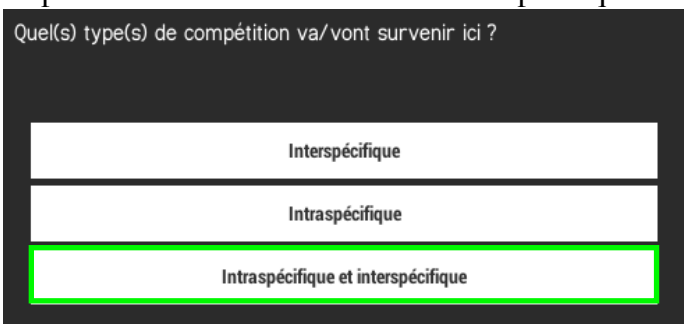
Sous-niveau 5-1

Une population de lapins en présence d'une population de chevreuils

Dans ce niveau, tu auras l'occasion de découvrir trois relations de compétition dans les trois sous-niveaux suivants...

Dans ce premier sous-niveau , la population de lapins est en compétition avec une population de chevreuils qui consomme les même ressources , présentes en quantité limitée .

Question 5-1 : Les étudiants répondent à ce QCM à 3 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Relations interspécifiques »



Si mauvaise réponse :

Faux . ☹
Tu devrais lire les fiches et réessayer.

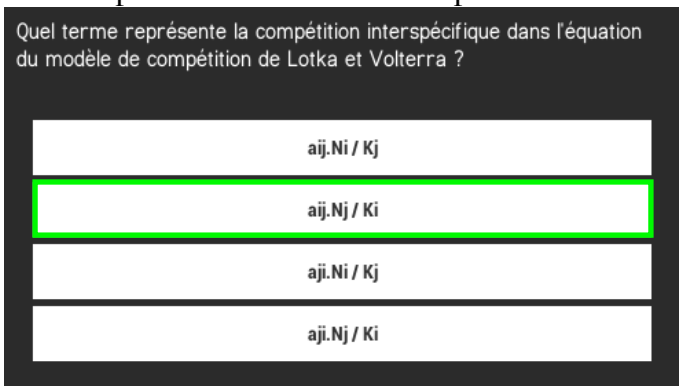
Si bonne réponse :

Tout à fait ! 👍
Dans ce niveau, les individus de la population de lapins vont être en compétition entre eux pour les ressources (compétition intraspécifique) mais également avec la population de chevreuils (compétition interspécifique).

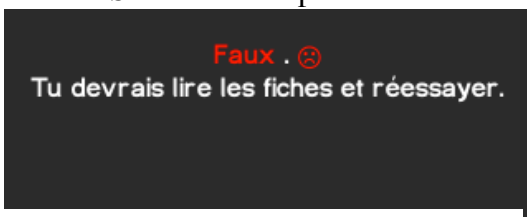
Fiche « Compétition » débloquée

Une fiche théorique sur la Compétition est maintenant disponible !
Consulte cette fiche pour découvrir les modifications qu'entraîne la présence de la population de chevreuils sur l'équation du taux d'accroissement logistique de la population de lapins, présentée dans le niveau 3 .

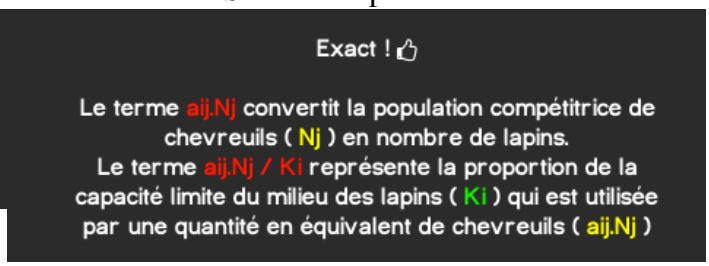
Question 5-2 : Les étudiants répondent à ce QCM à 5 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Compétition » :



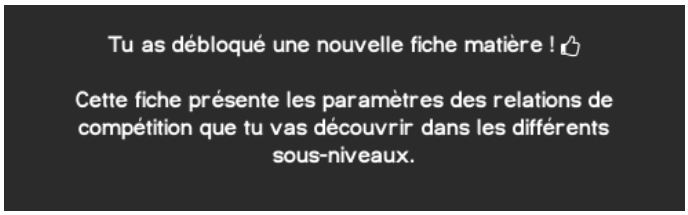
Si mauvaise réponse :



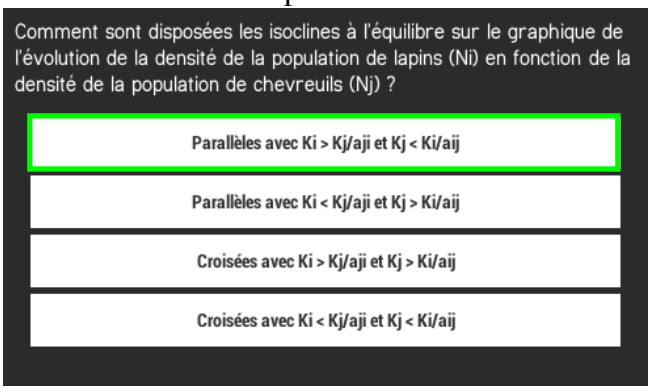
Si bonne réponse :



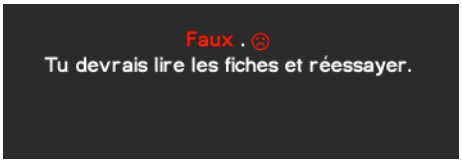
Fiche « Relations de compétition » débloquée



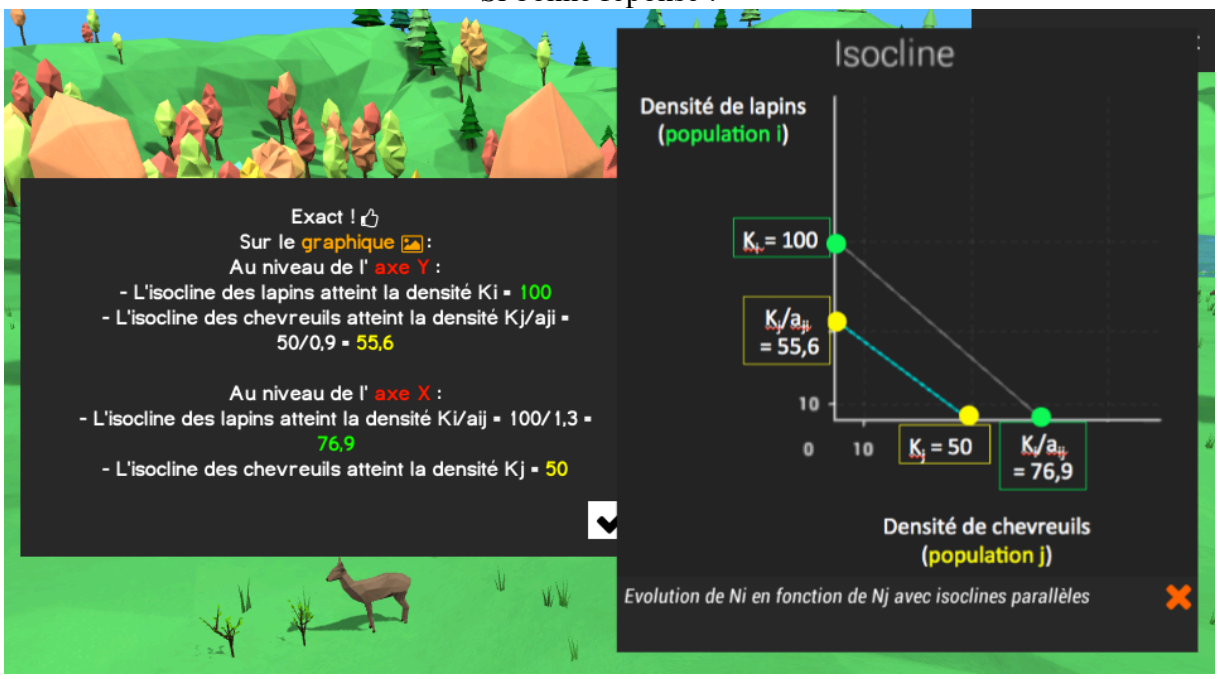
Question 5-3 : Les étudiants répondent à ce QCM à 5 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Compétition » et des valeurs de la fiche « Relations de compétition » :



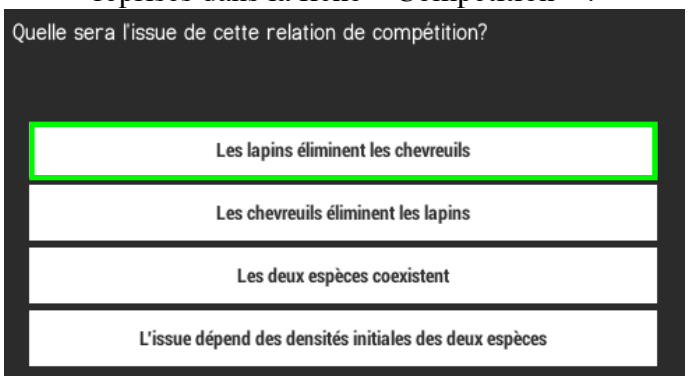
Si mauvaise réponse :



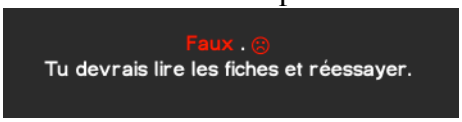
Si bonne réponse :



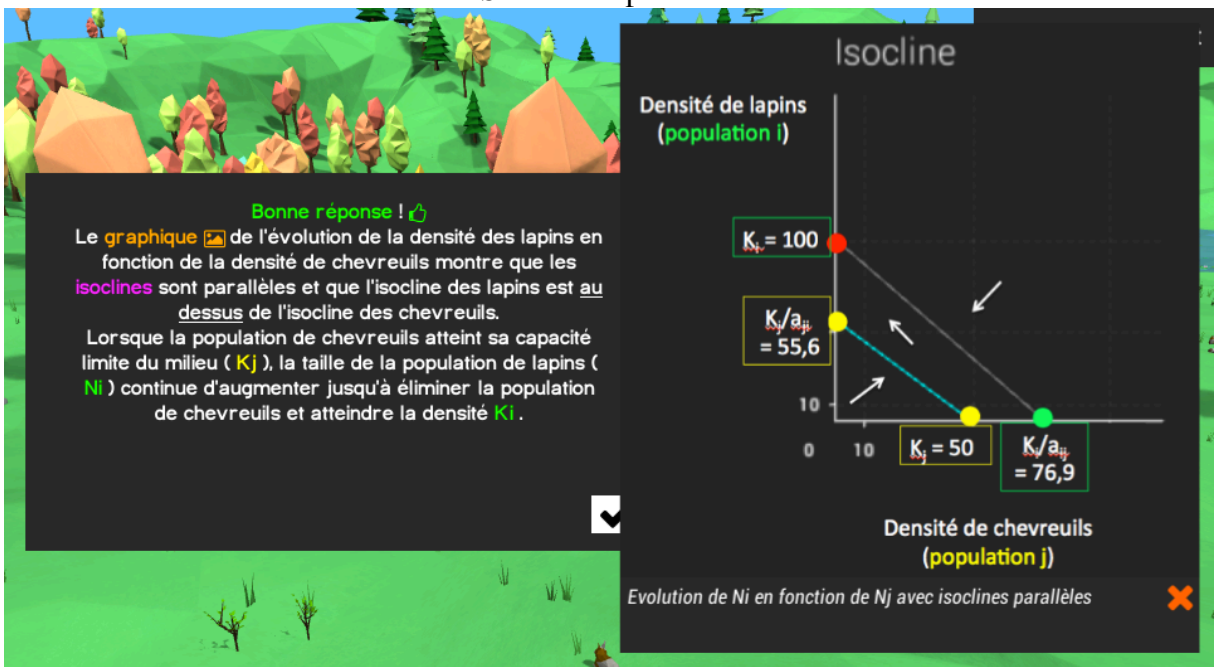
Question 5-4 : Les étudiants répondent à ce QCM à 5 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Compétition » :



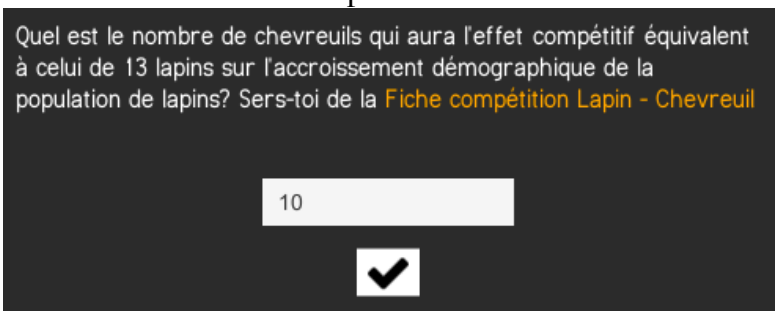
Si mauvaise réponse :



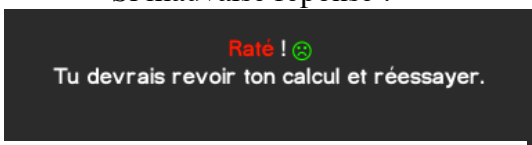
Si bonne réponse :



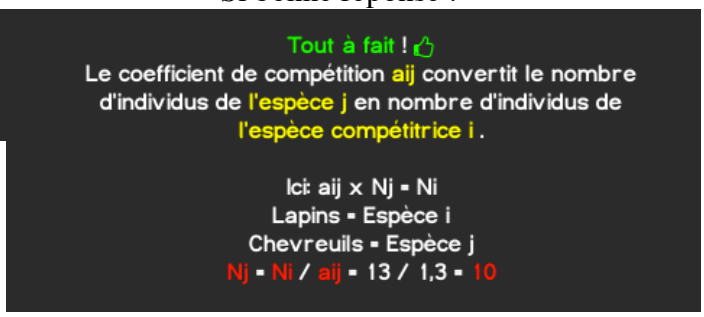
Question 5-5 : Les étudiants répondent à cette question ouverte à 8 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Compétition » et des valeurs de la fiche « Relations de compétition » :



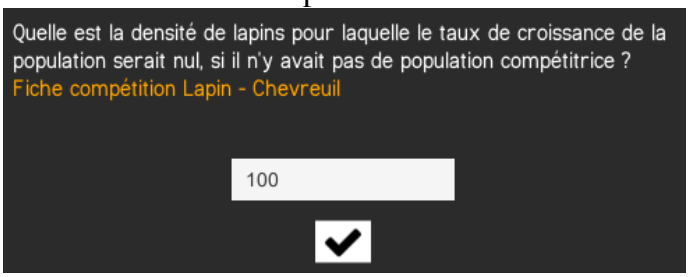
Si mauvaise réponse :



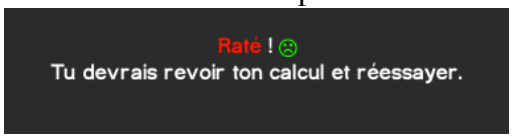
Si bonne réponse :



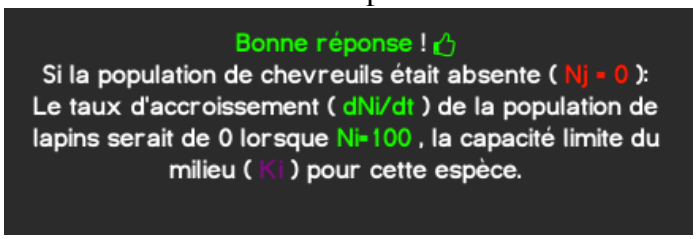
Question 5-6 : Les étudiants répondent à cette question ouverte à 8 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Compétition » et des valeurs de la fiche « Relations de compétition » :



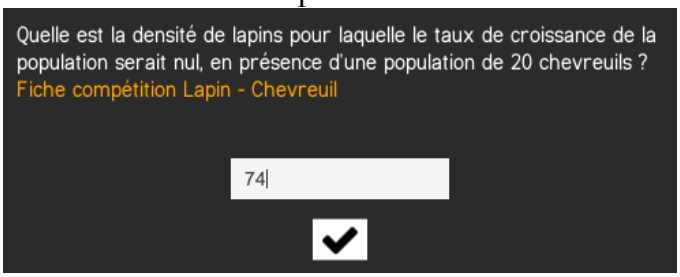
Si mauvaise réponse :



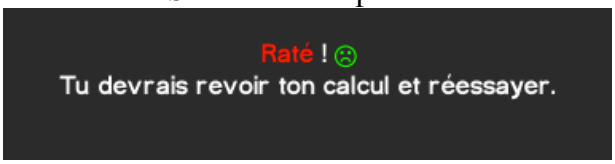
Si bonne réponse :



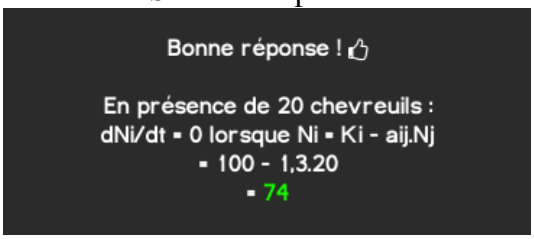
Question 5-7 : Les étudiants répondent à cette question ouverte à 8 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Compétition » et des valeurs de la fiche « Relations de compétition » :

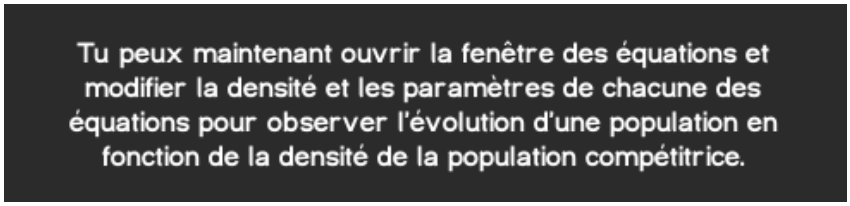


Si mauvaise réponse :



Si bonne réponse :

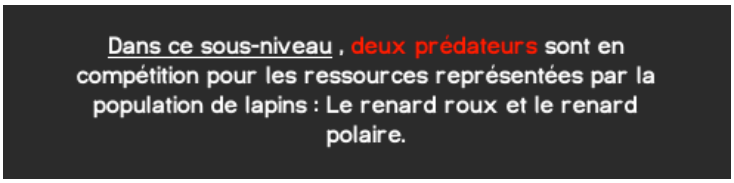




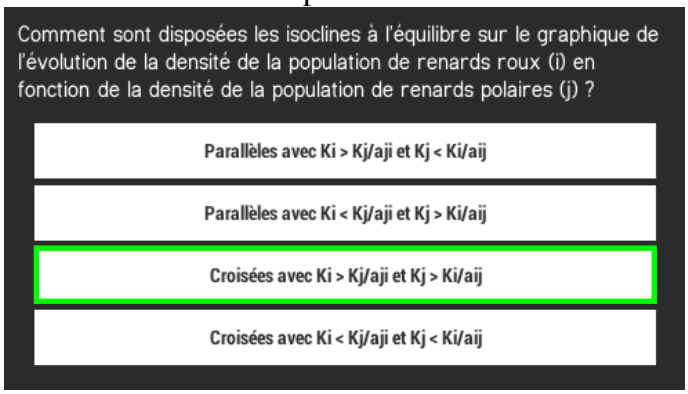
Fin du sous-niveau

Sous-niveau 5-2

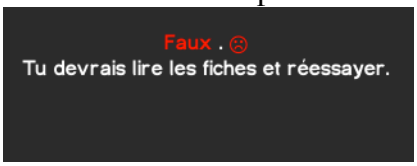
Une population de renards roux en présence d'une population de renards polaires



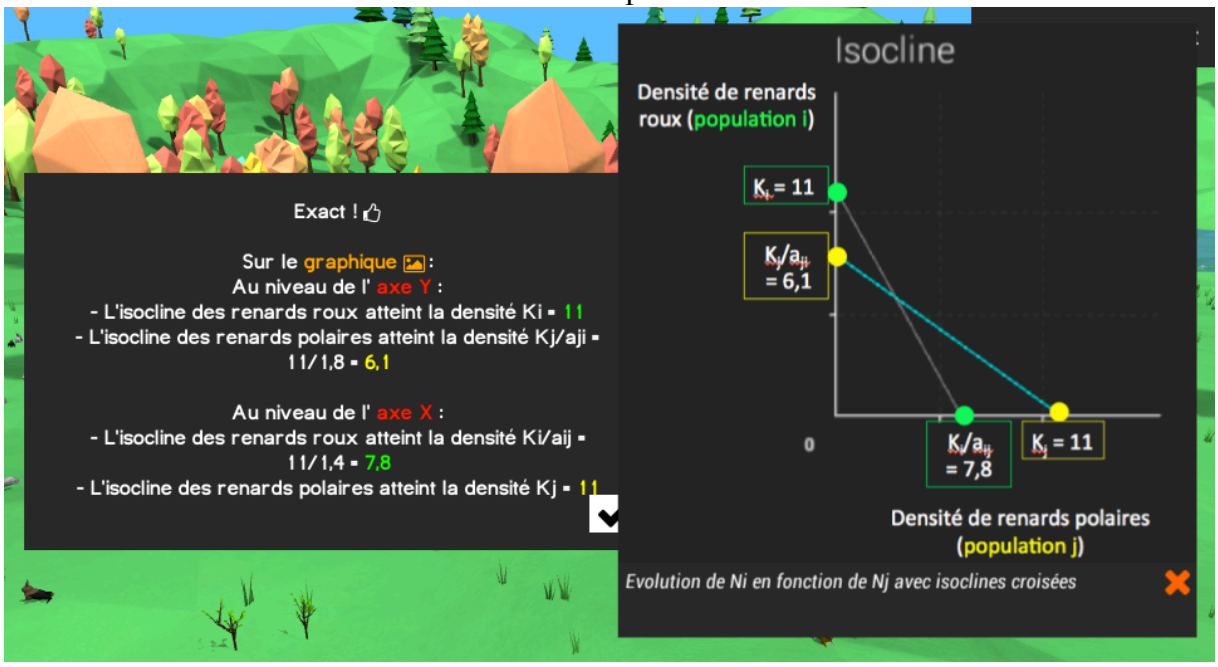
Question 5-8 : Les étudiants répondent à ce QCM à 5 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Compétition » et des valeurs de la fiche « Relations de compétition » :



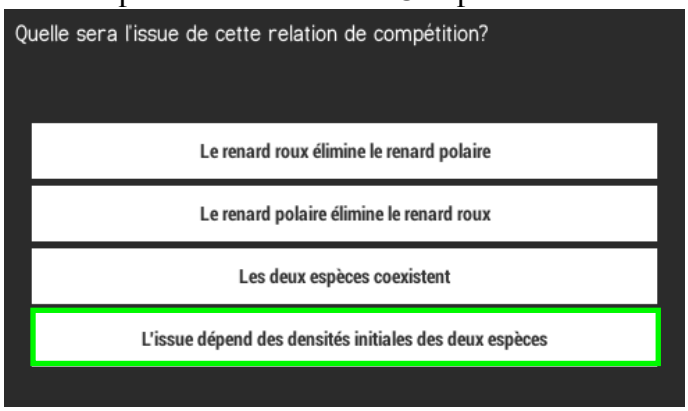
Si mauvaise réponse :



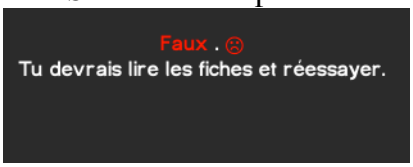
Si bonne réponse :



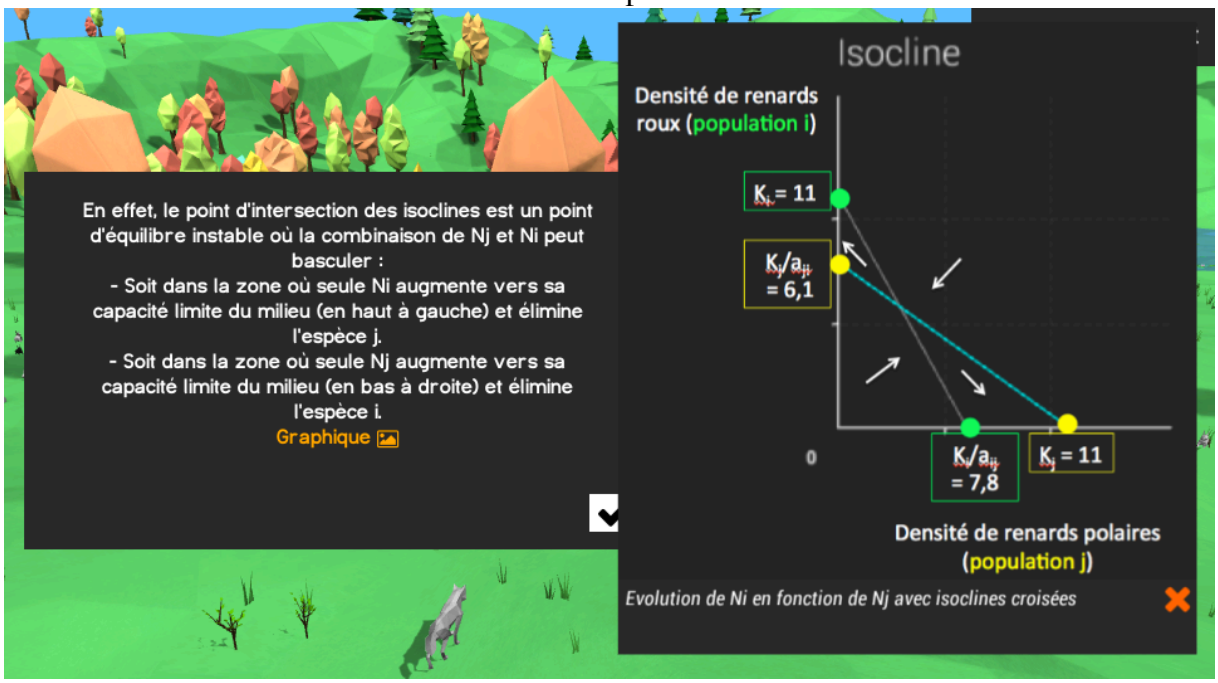
Question 5-9 : Les étudiants répondent à ce QCM à 5 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Compétition » :



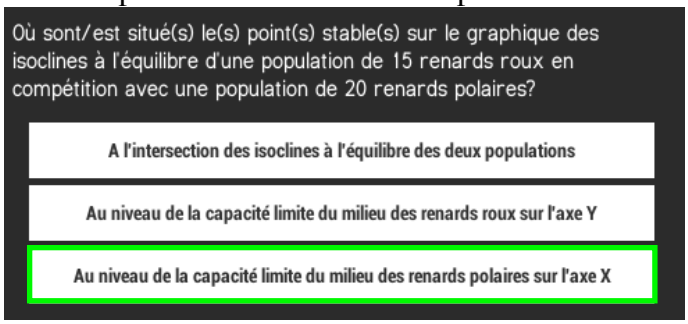
Si mauvaise réponse :



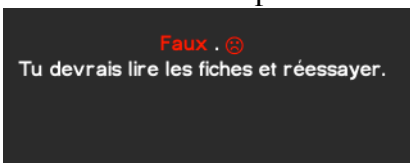
Si bonne réponse :



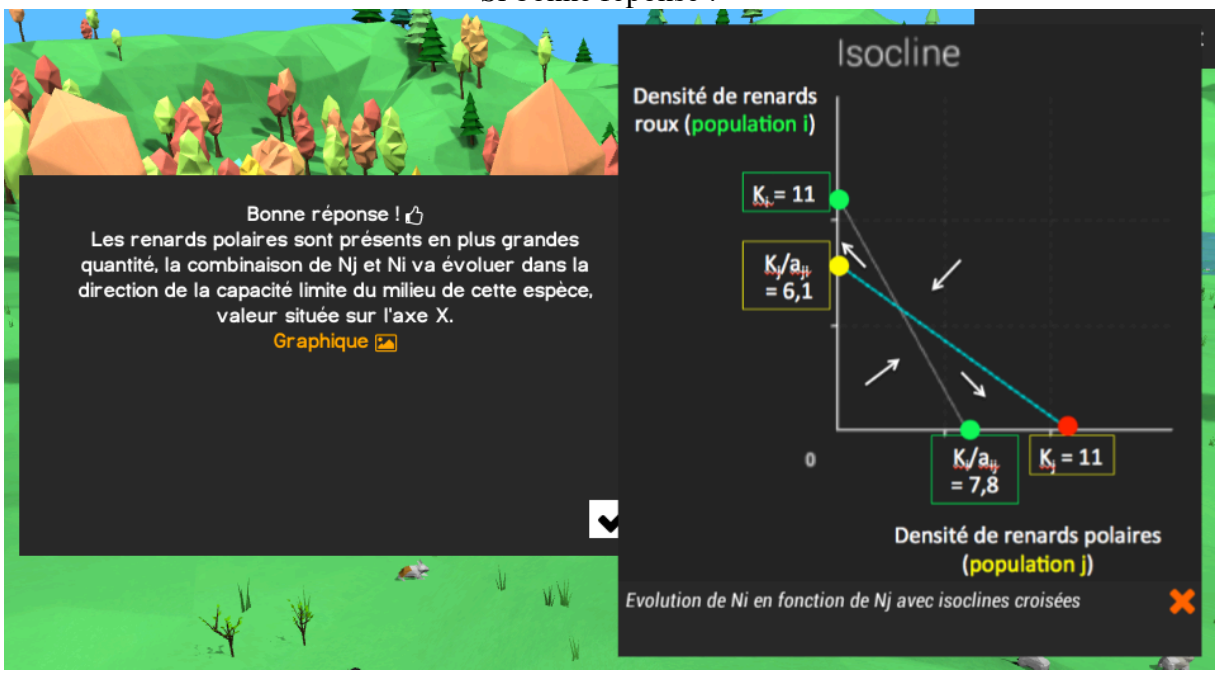
Question 5-10 : Les étudiants répondent à ce QCM à 5 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Compétition » :



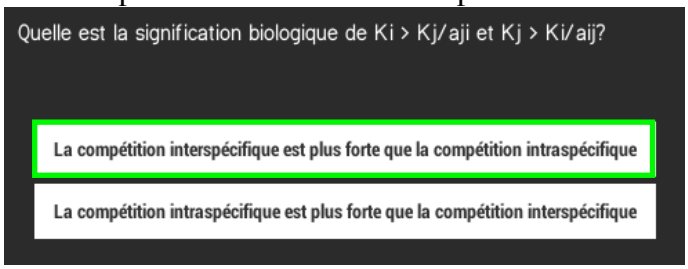
Si mauvaise réponse :



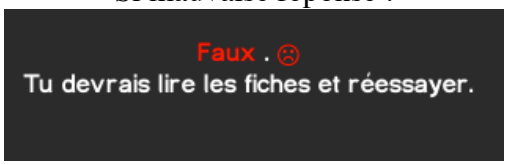
Si bonne réponse :



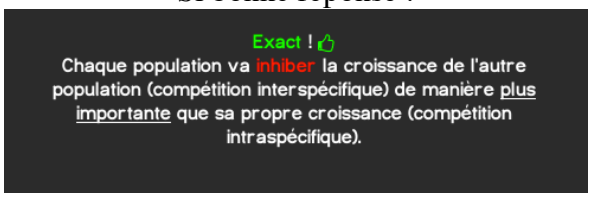
Question 5-11 : Les étudiants répondent à ce QCM à 5 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Compétition » :



Si mauvaise réponse :



Si bonne réponse :

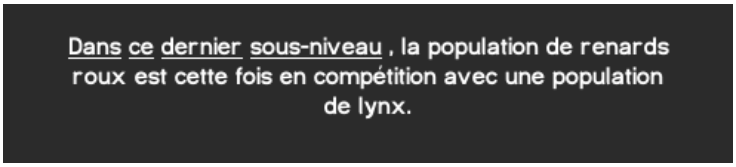




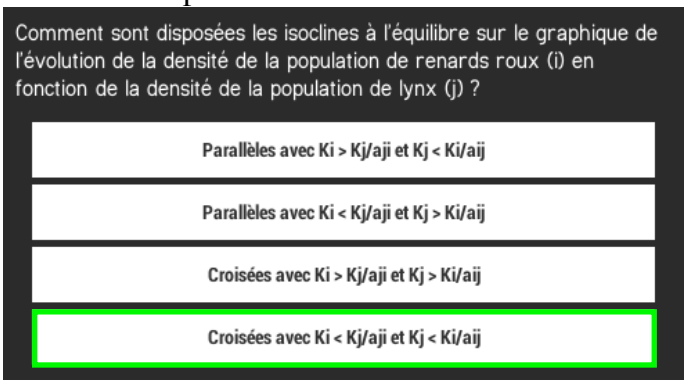
Fin du sous-niveau

Sous-niveau 5-3

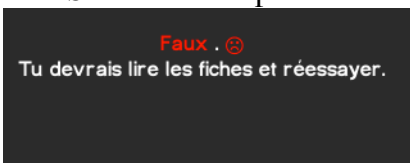
Une population de renards roux en présence d'une population de lynx



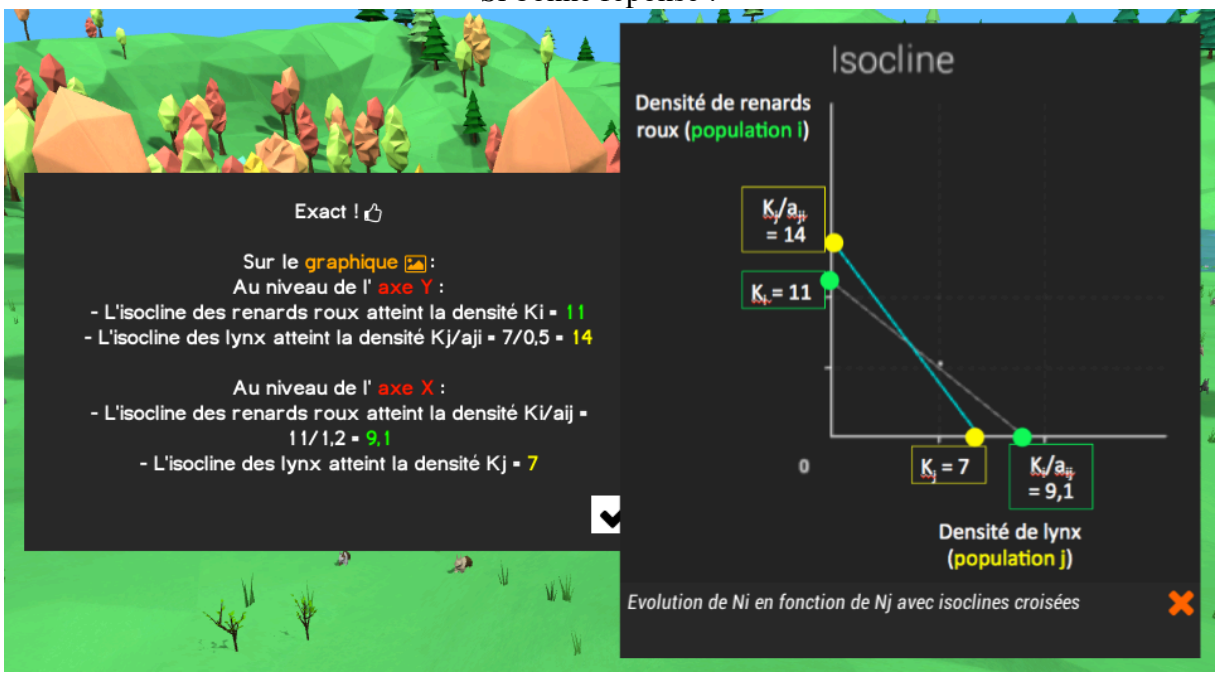
Question 5-12 : Les étudiants répondent à ce QCM à 5 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Compétition » et de la fiche « Relations de compétition » :



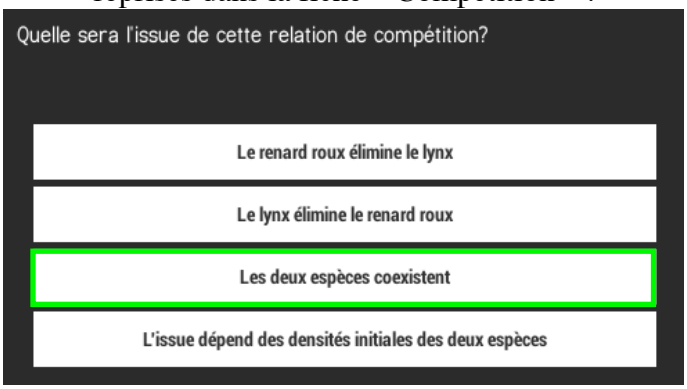
Si mauvaise réponse :



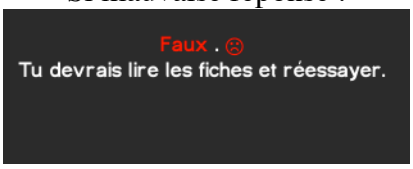
Si bonne réponse :



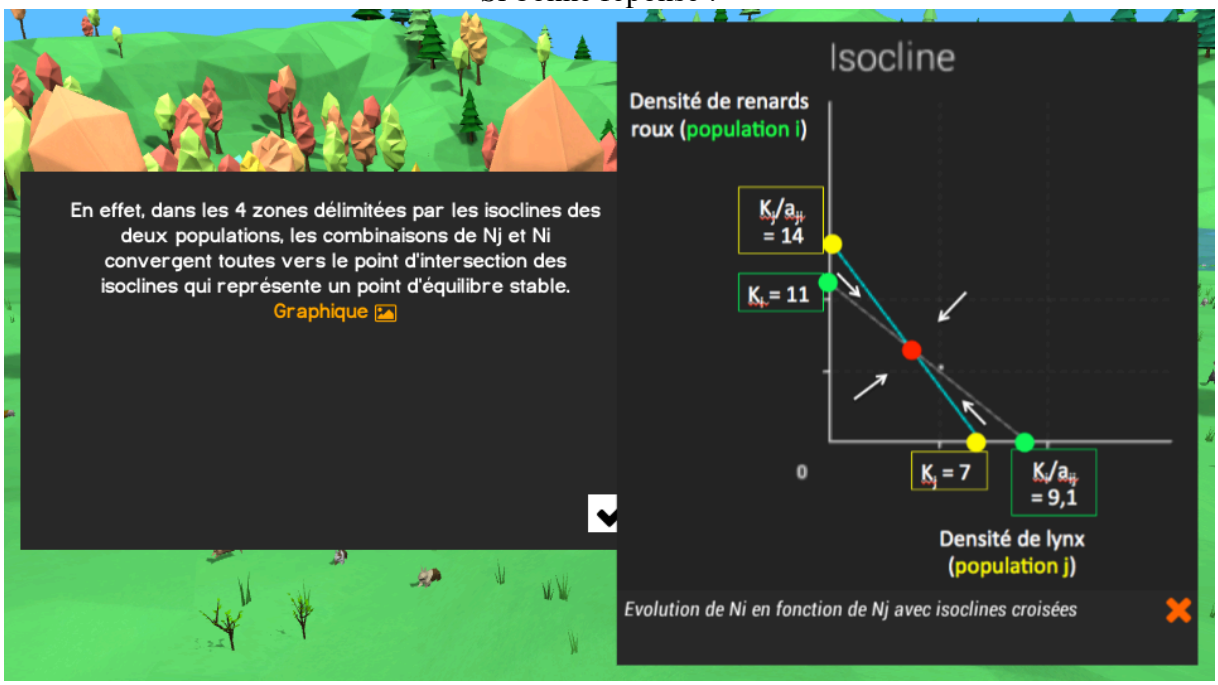
Question 5-13 : Les étudiants répondent à ce QCM à 5 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Compétition » :



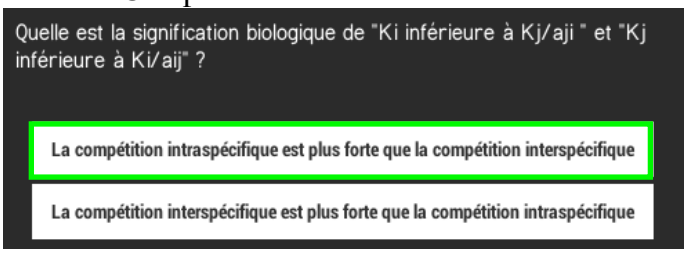
Si mauvaise réponse :



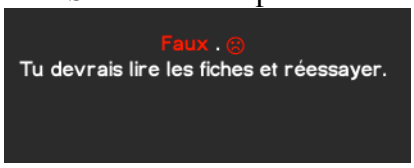
Si bonne réponse :



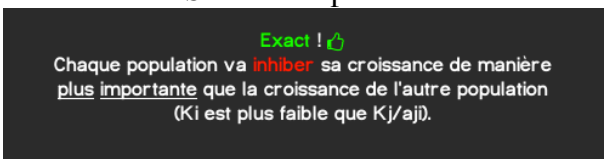
Question 5-14 : Les étudiants répondent à ce QCM à 5 essais en se servant des informations reprises dans la fiche « Compétition » et de la fiche « Relations de compétition » :

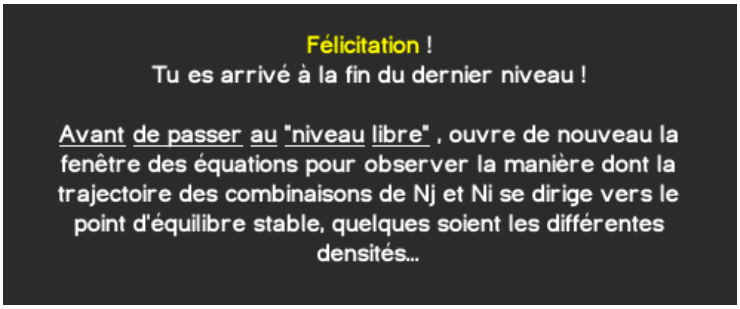


Si mauvaise réponse :



Si bonne réponse :





Fin du sous-niveau

Annexe VI : Captures d'écran contextualisées du contenu et des figures des fiches théoriques

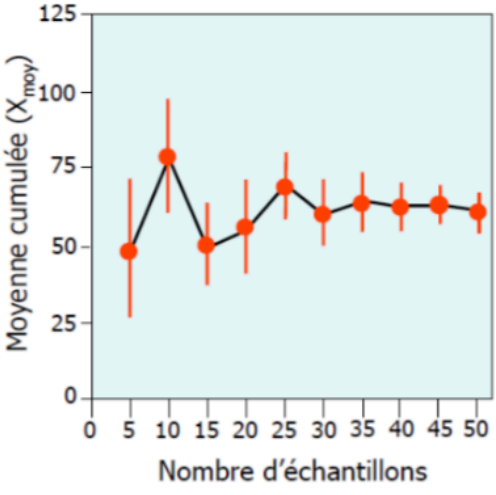
Techniques d'échantillonnage

La densité d'une population peut être mesurée via trois techniques d'échantillonnage différentes :

1. Méthode des quadrats

Cette méthode consiste à compter les individus présents dans des **quadrats répartis de manière aléatoire** dans l'aire d'échantillonnage.
La moyenne cumulée sera ensuite extrapolée à l'aire d'échantillonnage.
Conditions d'utilisation:
- Applicable aux organismes **immobiles ou très peu mobiles** (exemples : plantes, bivalves, ...)
- Nombre de quadrats : fonction de l' **espèce** et de l' **homogénéité** de l'habitat
- Surface des quadrats : fonction de l' **espèce**

Equation et graphique



Moyenne cumulée : $X_{moy} = (X_1+X_2+X_3+X_4+...+X_n)/n = \Sigma Xi/n$

Avec n = nombre d'échantillons

Variance = $\sigma^2 = \Sigma(Xi - X_{moy})^2/(n-1)$

Equation et évolution de la moyenne cumulée en fonction du nombre d'échantillons.

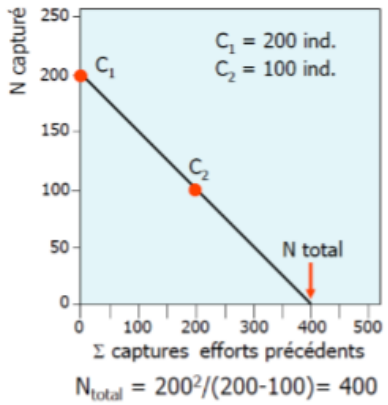
2. Efforts de capture

Cette méthode consiste à prélever les individus d'une espèce, par des **efforts de capture successifs** , et cela dans une **zone limitée** , **représentative** de l'habitat de cette espèce.

Conditions d'utilisation:
- La taille de la population doit être **stable** : absence de natalité, mortalité, immigration et émigration pendant la période d'échantillonnage.
- La capturabilité doit être **suffisante** : il faut prélever au moins la moitié des individus présents à chaque effort de capture (**P>0,5**).

Cette méthode peut être réalisée par deux ou trois efforts de capture :

Equation et graphique pour la technique des **deux efforts de capture**



Méthode des deux efforts de capture
(Seber & LeCren)

$N_{tot} = C_1^2/(C_1-C_2)$

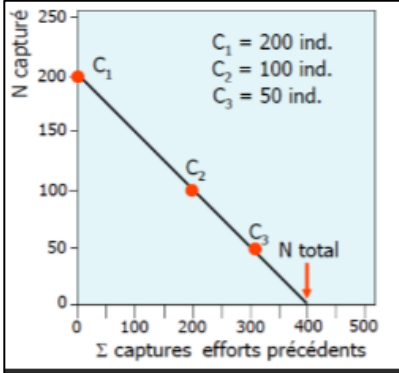
avec : C_1 = valeur lors de la 1ère capture
C_2 = valeur lors de la 2ème capture

Variance : $\sigma^2 = C_1^2\, C_2^2 (C_1+C_2)/(C_1-C_2)^4$

Probabilité de capture : $P = (C_1-C_2)/C_1$
$= 1-(C_2/C_1)$

Equation et graphique permettant l'estimation de la densité d'une population par la méthode des deux efforts de capture.

Equation et graphique pour la technique des **trois efforts de capture**



Méthode des trois efforts de capture
(Junge et Libosvarsky)

$N_{tot} = (6X^2-3XY-Y^2+Y(Y^2+6XY-3X^2)^{0,5})/18(X-Y)$

avec : $X = 2C_1+C_2$
$Y = C_1+C_2+C_3$
C_1, C_2 et C_3 : valeur lors de la 1ère, 2ème et 3ème capture

Probabilité de capture :
$P = (3X-Y-(Y^2+6XY-3X^2)^{0,5})/2X$

Equation et graphique permettant l'estimation de la densité d'une population par la méthode des trois efforts de capture.

3. Méthode de Capture - Marquage - Recapture (ou CMR)

- Dans une population d'effectif inconnu (N individus) : M individus sont capturés, marqués et relâchés.
- Après quelques jours : une seconde capture de n individus est réalisée, parmi lesquels x individus sont déjà marqués.
- Estimation de N via l'équation : M/N = x/n → N = M.n/x

Conditions d'utilisation:
- Le marquage des individus ne doit pas modifier leur comportement ou faciliter leur capture.
Exemples : le bagage des oiseaux ou la coupure d'une nageoire chez les poissons.
- La **taille de la population doit rester stable** pendant la période d'échantillonnage.
- Il faut réaliser **un grand nombre de captures** .
- La répartition des individus capturés doit être **homogène** .

Exemple

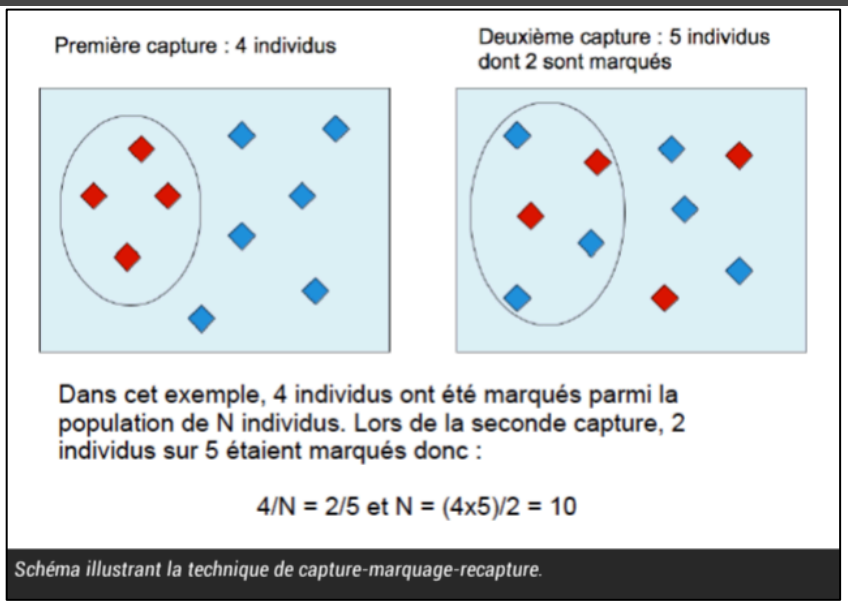
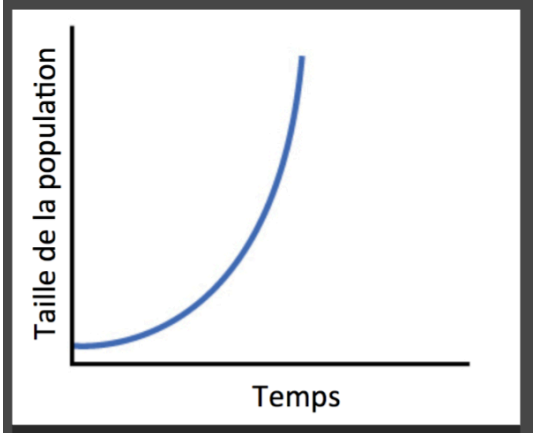


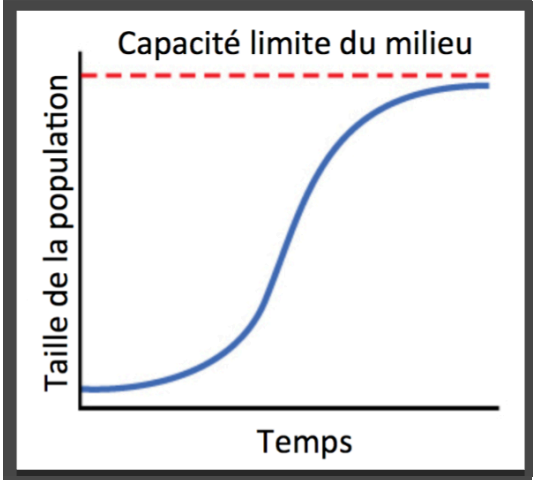
Schéma illustrant la technique de capture-marquage-recapture.

Fonctions mathématiques

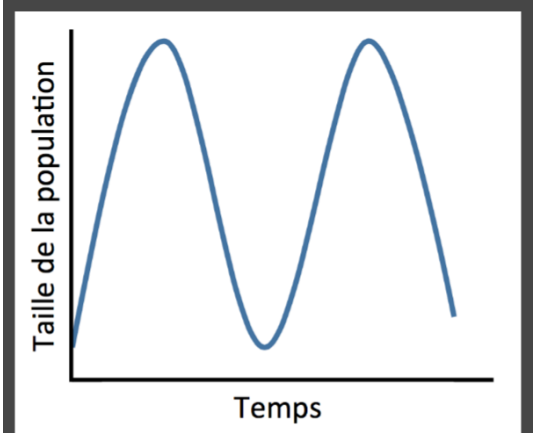
Courbe exponentielle



Courbe logistique



Courbe sinusoïdale

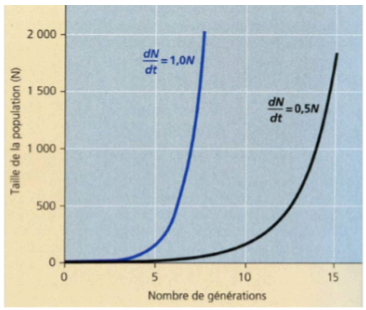


Accroissement démographique exponentiel

Augmentation **intrinsèque** (dépendante de la natalité et de la mortalité) de la taille la population.
Caractéristique des populations arrivant dans un nouveau habitat ou en restauratio après avoir disparues.

Dans ce modèle :
- **Les ressources du milieu sont illimitées** : énergie, ressources pour la croissan et pour la reproduction.
- **Absence d'immigration et d'émigration** .

- r = taux intrinsèque d'accroissement. Exemple



$dN/dT = bN - dN = r_{max}N$

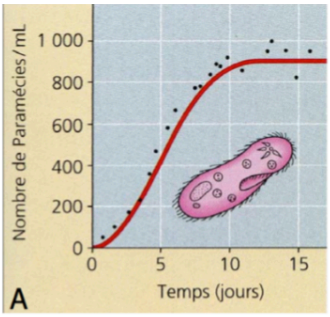
b = taux de natalité
d = taux de mortalité
$r = b - d$: si $r = 0$: croissance démographique nulle ($b = d$)
si $r > 0$: augmentation de la taille de la population
si $r < 0$: diminution de la taille de la population

Equation et courbe d'accroissement démographique exponentiel

Accroissement démographique logistique

Tient compte de la **capacité limite du milieu** (K) :
- **Nombre maximal** d'individus pouvant vivre dans **un milieu donné** et pendant ur **période donnée** sans dégrader l'environnement.
- **Propriété du milieu** qui varie dans le **temps** et dans **l'espace** en fonction de l'abondance des ressources et d'habitats favorables.

Exemple



$dN/dT = r_{max}N[(K-N)/K]$

(K-N)/K : pourcentage de K admettant encore un accroissement démographique

N proche de 0 : r élevé
N s'approche de K : r diminue
N > K : r est négatif, la taille de la population diminue
N = K : équilibre, $r = 0$ et $b = d$

Equation et graphique de l'accroissement démographique logistique

Interactions interspécifiques

1. Compétition :

- La compétition est l'utilisation/défense d'une ressource par un individu et qui réduit la disponibilité de celle-ci pour les autres individus.
- Cette interaction est donc **nuisible pour les deux individus**
- Intraspécifique ou interspécifique.

2. Prédation et parasitisme :

- Ce sont des interactions **nuisibles pour un des deux organismes** impliqués.
- La prédation entraine la mort directe de la proie via la consommation par un prédateur
- Le parasite se lie à un hôte au moins à un certain stade du développement et n'entrainant pas la mort directe de cet hôte.

3. Mutualisme

- Interaction **avantageuse pour les deux organismes**
- Elle peut être obligatoire ou facultative
- Il existe trois types de mutualisme : trophique, dispersif et défensif

Exemples :

- **Mutualisme trophique** : Plante légumineuse/bactéries fixatrices d'azote (Rhizobium)
- **Mutualisme dispersif** : Plante/pollinisateur
- **Mutualisme défensif** : Murènes/labres nettoyeurs

4. Commensalisme

- Interaction avantageuse pour l'un des organismes et neutre pour l'autre
- Le commensalisme véritable est très rare dans la nature.

Exemples :

- Héron garde-boeuf - buffle
- Balane - baleine

Prédation

1. Modèle de Lotka - Volterra

a) Taux d'accroissement de la population de proies :

- Le terme rH représente l'accroissement de la population de proies **en absence de toute source de mortalité** (prédation, maladie, ...).
- La mortalité des proies est **uniquement due à la prédation.**
- **La prédation est directement proportionnelle au produit des tailles des populations de proies et de prédateurs et est représentée par le terme pHP .**
- **A partir de cette équation, on peut calculer Péquilibre .**
- **Sur les graphiques , on peut voir que plus H est grande, plus la diminution de celle-ci est forte lorsque la densité en prédateurs augmente .**

Pente plus forte lorsque H passe de 10 à 30 et à 50.

- **On peut également remarquer une diminution de la valeur de Péquilibre lorsque l'efficacité de prédation p augmente .**

Péquilibre diminue lorsque p passe de 0,01 à 0,03.

Equations et graphiques

Taux d'accroissement des proies :

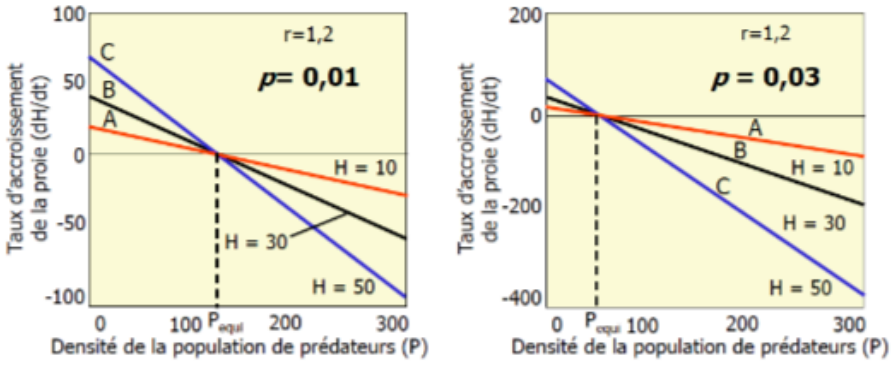
$$dH/dt = r\,H - p\,HP$$

P : Taille de la population de prédateurs
H : Taille de la population de proies
p : Taux de capture ($0 < p < 1$)

$P_{équilibre}$:
Densité de prédateurs pour laquelle le nombre de proie est stable :

$dH/dt = 0$ si $r\,H = p\,HP$

$$P_{équi} = r / p$$



Equation et graphique du taux d'accroissement des proies en fonction de la densité de prédateurs.

b) Taux d'accroissement de la population de prédateurs :

- Le taux de natalité est directement proportionnel au nombre de proies capturées.
- Une fraction (a) de l'énergie capturée est consacrée à la reproduction des prédateurs.
- Le taux de mortalité (d) est constant et indépendant du nombre de proies.
- - Sur le graphique , on peut voir que le taux d'accroissement de la population de prédateurs (dP/dt) augmente lorsque la densité en proies augmente .

Equations et graphique

Taux d'accroissement des prédateurs :

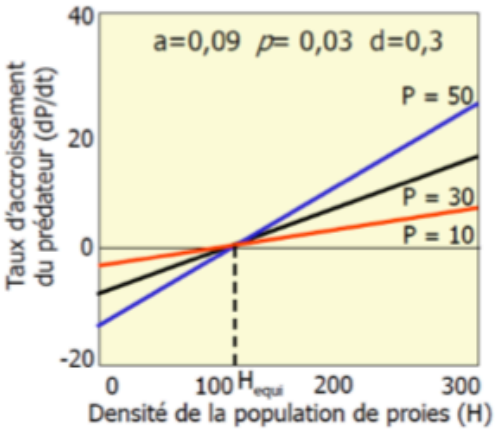
$$dP/dt = apHP - dP$$

P : Taille de la population de prédateurs
H : Taille de la population de proies
p : Taux de capture ($0 < p < 1$)
a : Fraction de l'énergie utilisée pour la reproduction
d : Taux de mortalité

Héquilibre :
Densité de proies pour laquelle le nombre de prédateur est stable :

$dP/dt = 0$ si $apHP = dP$

$H_{équi} = d / ap$

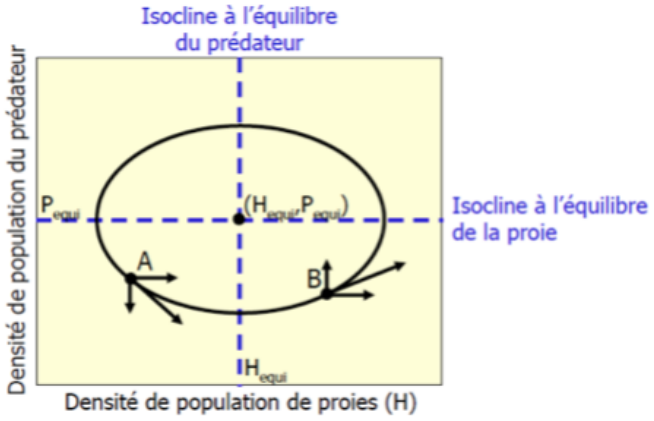


Equation et graphique du taux d'accroissement des prédateurs en fonction de la densité de proies.

c) Croissance combinée proie – prédateur

Sur le graphique représentant l'évolution de la combinaison de P et H :

- Au niveau de la ligne Héquilibre: P ne varie pas .
- Au niveau de la ligne Péquilibre: H ne varie pas .
- Diminution de P pour les combinaisons H-P situées à gauche de Héquilibre car il n'y a pas assez de proies pour nourrir les prédateurs.
- Augmentation de P pour les combinaisons H-P situées à droite de Héquilibre car les proies représentent alors une grande quantité de ressources pour la population de prédateurs.
- Diminution de H pour les combinaisons H-P situées au dessus de Péquilibre car il y aura une forte pression de prédation sur la population de proies.
- Augmentation de H pour les combinaisons H-P situées en dessous de Péquilibre car il y aura une faible pression de prédation sur la population de proies..



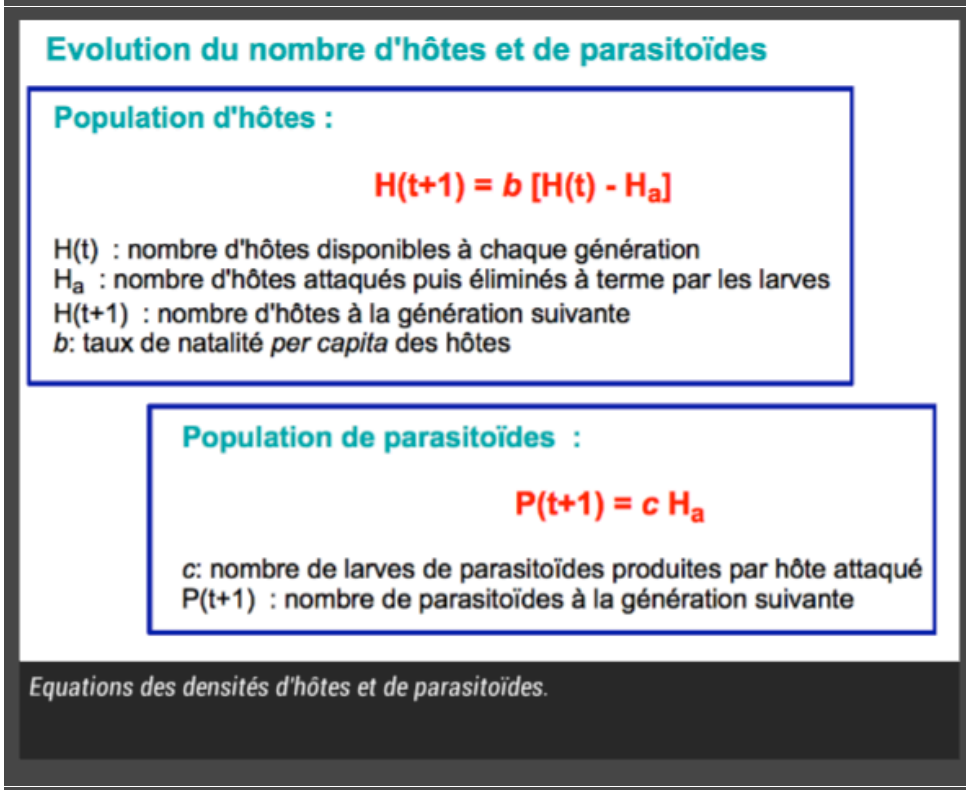
Trajectoire des combinaisons de densité de proies et prédateurs selon leur position par rapport aux isoclines à l'équilibre.

2. Modèle de Nicholson - Bailey

- Adapté aux interactions parasitoïdes-hôtes.
- Parasitoïdes-hôtes : entraîne la mort indirecte de l'hôte qui sert de lieu de ponte.
- Plusieurs parasitoïdes peuvent pondre dans un seul hôte.

a) Evolution du nombre d'hôtes et de parasitoïdes

Equations



Equations des densités d'hôtes et de parasitoïdes.

b) Nombre d'hôtes attaqués

Plus une population est attaquée, moins il y a de chance que de nouveaux hôtes soient attaqués.

Compétition

Deux espèces qui ont des besoins semblables ne peuvent cohabiter car l'une des deux élimine l'autre en s'accaparant les ressources, présentes en quantité limitée.

1. Les équations du modèles

Le modèle de compétition de Lotka et Volterra repose sur une modification de l'**équation d'accroissement logistique** qui ne comprend que la compétition survenant entre les membres d'une même espèce : la compétition intraspécifique .
Cette modification consiste donc à insérer un terme représentant la compétition interspécifique .
Dans ce terme, le facteur a est appelé coefficient de compétition :
- Le facteur aij, ou coefficient de compétition , convertit un nombre d'individus de l'espèce j en nombre équivalent de l'espèce i en terme d'utilisation des ressources.
Exemple : un individu de l'espèce j est équivalent à aij individus de l'espèce i
Equations

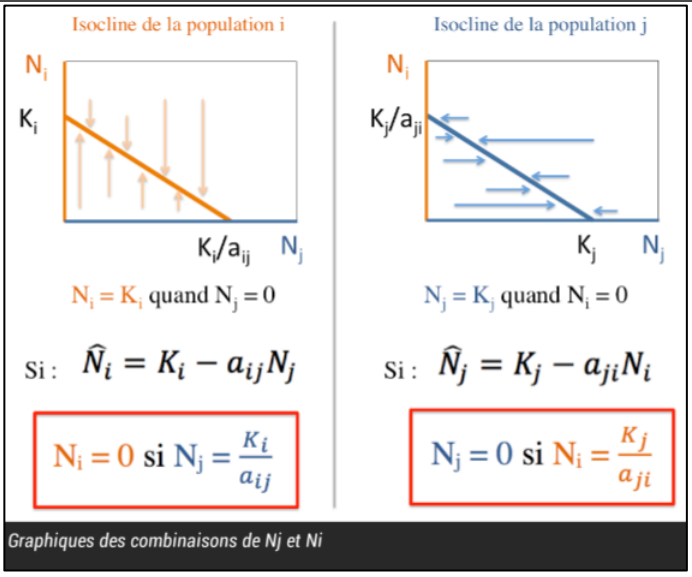
$$\frac{dN_i}{dt} = r_i N_i \left(1 - \frac{N_i}{K_i} - \frac{a_{ij} N_j}{K_i}\right)$$

$$\frac{dN_j}{dt} = r_j N_j \left(1 - \frac{N_j}{K_j} - \frac{a_{ji} N_i}{K_j}\right)$$

Compétition intraspécifique — Compétition interspécifique

Equations des taux de croissance de populations en compétition

Les graphiques représentent les isoclines de chaque population :
- Pour les combinaisons de Ni et Nj en dessous de son isocline : dN/dt positif
- Pour les combinaisons de Ni et Nj au dessus de son isocline : dN/dt négatif
- Pour les combinaisons de Ni et Nj le long de son isocline : dN/dt = 0



Graphiques des combinaisons de Nj et Ni

2. Densités à l'équilibre

- Les équations du modèle permettent de calculer la densité à l'équilibre d'une population lorsqu'elle est en présence d'une population compétitrice.
Démonstration mathématique

$$\frac{dN_i}{dt} = r_i N_i \left(1 - \frac{N_i}{K_i} - \frac{a_{ij} N_j}{K_i}\right) = 0$$

$$1 - \frac{N_i}{K_i} - \frac{a_{ij} N_j}{K_i} = 0$$

En multipliant chaque terme par Ki : $K_i - N_i - a_{ij} N_j = 0$

$$\hat{N}_i = K_i - a_{ij} N_j$$
$$\hat{N}_j = K_j - a_{ji} N_i$$

Equations donnant les densités à l'équilibre de chacune des populations en compétition

3. Conditions de coexistence

- Pour que les deux populations coexistent, elles doivent **chacune** atteindre un effectif **stable non nul** .
- C'est le cas lorsque la compétition **intraspécifique** est plus forte que la compétition **interspécifique** .
- On obtient les valeurs de ces effectifs en remplaçant Nj par sa valeur à l'équilibre dans l'équation permettant d'obtenir Ni à l'équilibre.
Démonstration mathématique

$$\hat{N}_i = K_i - a_{ij} N_j$$

→ En remplaçant N_j par $K_j - a_{ji} N_i$:

$$N_i = K_i - a_{ij}(K_j - a_{ji} N_i)$$
$$N_i - a_{ij} a_{ji} N_i = K_i - a_{ij} K_j$$

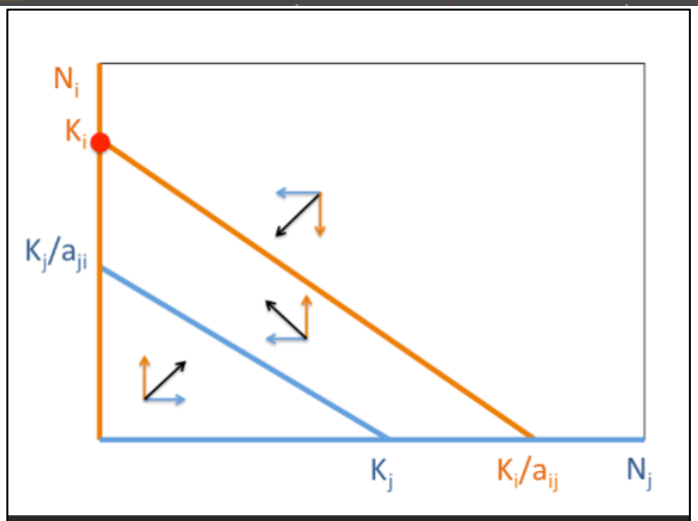
$$\hat{N}_i = \frac{K_i - a_{ij} K_j}{1 - a_{ij} a_{ji}} \quad \text{et} \quad \hat{N}_j = \frac{K_j - a_{ji} K_i}{1 - a_{ji} a_{ij}}$$

Equation des densités des deux populations en équilibre l'une avec l'autre

4. Représentation graphique

Lorsque l'on représente les deux isoclines à l'équilibre des populations en compétition sur un même graphique , 3 cas de figures sont possibles:
- Les isoclines sont parallèles : une des deux espèce est le compétiteur supérieur et élimine l'autre espèce en s'accaparant les ressources.

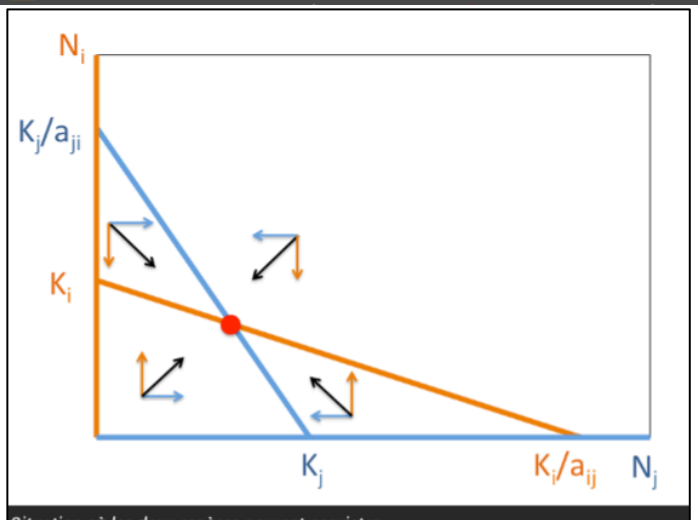
Graphique



Situation où l'espèce i est le compétiteur supérieur

- Les isoclines se croisent et la compétition intraspécifique est supérieure à la compétition interspécifique.

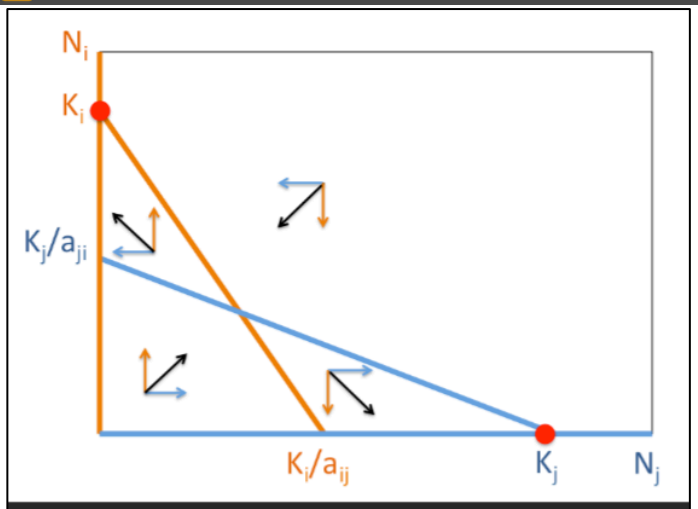
Graphique



Situation où les deux espèces peuvent coexister.

- Les isoclines se croisent et la compétition interspécifique est supérieure à la compétition intraspécifique.
- Dans ce cas-ci, l'espèce qui élimine l'autre est celle qui a la plus grande densité initiale .

Graphique



Situation où les deux espèces ne peuvent coexister et où l'issue dépend de la densité initiale des deux populations.

- Le facteur r peut influencer la vitesse à laquelle une des deux espèces atteint son isocline ou la valeur de sa capacité limite du milieu.

Sur les graphiques, les points rouges représentent les **points d'équilibre stables**

Relations de compétition

Compétition Lapins - Chevreuils

Lapin		Chevreuil	
			
a_{ji}	0,9	a_{ij}	1,3
K_i	100	K_j	50
r_i	1,5	r_j	0,5

Paramètres de la relation de compétition entre une population de lapins et une population de chevreuils.

Compétition Renards roux - Renards polaires

Renard roux		Renard polaire	
			
a_{ji}	1,8	a_{ij}	1,4
K_i	11	K_j	11
r_i	1,12	r_j	1,2

Paramètres de la relation de compétition entre une population de renards roux et une population de renards polaires

Compétition Renards roux - Lynx

Renard roux		Lynx	
			
a_{ji}	0,5	a_{ij}	1,2
K_i	11	K_j	7
r_i	1,12	r_j	1,05

Paramètres de la relation de compétition entre une population de renards roux et une population de lynx