DOI : https://doi.org/10.26034/cm.iptic.2023.11733

« WORLD OF CHEMISTRY » : UN PARCOURS LUDIQUE DE MINI-JEUX EN LIGNE POUR RENFORCER SES CONNAISSANCES EN CHIMIE GÉNÉRALE À L'UNIVERSITÉ

Nathalie le Maire, ULiège et Pôle académique de Namur, nathalie.lemaire@poledenamur.be,
Catherine Colaux, ULiège, catherine.colaux@uliege.be,
Marie-Laure Fauconnier ULiège, marie-laure.fauconnier@uliege.be,
et Dominique Verpoorten ULiège, dverpoorten@uliege.be

Résumé
« World of Chemistry » est un parcours ludique proposé à 223 étudiants bioingénieurs de première année de l'Université de Liège dans le cadre d'un cours de chimie générale. Ciblant des difficultés didactiques bien identifiées, le parcours déploie concrètement 4 mini-jeux dont les mécanismes de gamification s'inspirent de ceux que l'on peut voir à l'œuvre dans le domaine commercial (classement des meilleurs joueurs, compte à rebours, niveaux, …). Ce choix de développer des mini-jeux plutôt que des serious games immersifs, souvent complexes et coûteux, permet d'étudier dans quelle mesure les différents bénéfices attribués à la pédagogie ludique se matérialisent aussi à un niveau de ludification et d'objectifs d'apprentissage modestes (soutien à la maîtrise d'un concept important en chimie). Après avoir introduit la notion de gamification, établi les caractéristiques des 4 mini-jeux et décrit les intentions pédagogiques qui les sous-tendent, l'article rapporte les résultats obtenus en termes de participation, de performance et de perception. L'expérience suggère que cette possibilité d'intégration de mini-jeux dans un cours mérite l'attention des enseignants dès lors qu'elle suscite l'engagement des étudiants, impacte positivement la performance de ceux qui s'y adonnent ainsi que leur sentiment de satisfaction et d'efficience.

Mots-clés : mini-jeu, gamification, parcours ludique, chimie, engagement, perception, satisfaction, utilité, efficience, performance

1. Introduction

Dans un contexte marqué par l'arrivée d'une génération (Tapscott, 1999) pour laquelle technologies et réseaux sociaux relèvent de l'évidence (Prensky, 2005 ; Stein, 2013 ; Weiler, 2004), l'université s'interroge sur l'importance à accorder à cette culture numérique dans les pratiques quotidiennes d'enseignement (Evans et Robertson, 2020), certains y voyant un danger (Carr, 2008 ; Finkielkraut et Soriano, 2001 ; Twenge et Campbell, 2018), d'autres une nécessité, voire une occasion à saisir pour l'apprentissage (Ainin et al., 2015 ; Baricco, 2014 ; Srinivasan et Thomas, 2016 ; Warschauer et al., 2010). Parmi les nouveaux artefacts numériques, les jeux ont, depuis une vingtaine d'années, attiré l'attention des chercheurs et des enseignants.

1.1 Jeux immersifs et mini-jeux

La littérature a ainsi livré plusieurs travaux de fond (Egenfeldt-Nielsen, 2006 ; McFarlane et al., 2002 ; Mitchell et Savill-Smith, 2004 ; Plass et al., 2020) qui synthétisent les efforts déployés pour conférer aux apprentissages un caractère « ludique » (Westera, 2015), l'espoir sous-jacent étant de faire profiter les apprenants en contexte scolaire de divers processus et bénéfices observés chez les joueurs : motivation intrinsèque soutenue (Foster, 2008 ; Kang et Tan, 2008 ; Muntean, 2011 ; Papastergiou, 2009), déploiement de démarches d'exploration (Gordillo et al., 2013) et de réflexion (Mikropoulos et Natsis, 2011), processus d'identification et de modelage sur un personnage (Francis, 2006), engagement dans des formes d'apprentissage par problèmes (Chang et al., 2012 ; Spires et al., 2011), insertion d'une dimension de défi dans les activités éducatives (Charsky, 2010), renforcement de l'implication des étudiants dans les activités pédagogiques (da Rocha Seixas et al., 2016 ; Muntean, 2011 ; Togo et Fung, 2021), gains métacognitifs (Verpoorten et al., 2012) performance augmentée (Burguillo, 2010 ; Sung et Hwang, 2013 ; Wang et Chen, 2010), développement du bien-être psychologique (Alhalafawy et Zaki, 2019), etc. Cependant, lorsque la transposition pédagogique des jeux nécessite la création d'environnements narratifs, immersifs et de simulation (de Freitas, 2006 ; Westera, 2015 ; Westera et al., 2008), elle se heurte, dans un contexte budgétaire difficile pour beaucoup d'institutions d'enseignement supérieur, à des complexités et des coûts de développement prohibitifs.

C'est ici que la « gamification » (*ludification en français*) apparaît comme une voie médiane. Cette notion désigne l'application d'éléments, de mécanismes, de processus ludiques à des situations, des contextes, des visées non ludiques (Deterding et al., 2011). En contexte scolaire, la « gamification » a donné lieu à des expériences portant sur des « mini-jeux » (Frazer et al., 2007) permettant de combiner un coût de mise en œuvre abordable, une pertinence pédagogique et une plus-value ludique. Le propre de ces approches est d'activer, au service d'une activité d'apprentissage, des principes et des mécanismes issus de jeux populaires de type Candy Crush Saga, Angry Birds, Clash Royal, Pokemon Go, etc. Les premiers répertoires de ces game mechanics proviennent d'ailleurs de publications non académiques, branchées sur la dimension commerciale de la gamification (Bunchball, 2010 ; Dignan, 2011 ; Harris, 2014 ; Reeves et Read, 2009). La littérature académique leur a emboîté le pas. Ainsi, Bevins et Howard (2018) identifient 8 procédés élémentaires permettant de gamifier une activité humaine, et une activité éducative en particulier. Wang et Huang (2021) en théorisent 20, ventilés en 6 catégories. Ritzhaupt et al. (2021) proposent un inventaire de 14 « gamification design elements ».

En activant certains de ces mécanismes, les mini-jeux à visée éducative apparaissent comme une réponse originale possible à des préoccupations pédagogiques courantes : a) ils présentent des règles peu nombreuses et stables, permettant de focaliser l'attention de l'étudiant sur des informations essentielles à son apprentissage (Frazer et al., 2007) et de lui rendre ce dernier visible (Hattie, 2009), ce qui peut être facteur de motivation ; b) ils utilisent largement le feedback automatique dont on sait le caractère critique pour l'apprentissage (Hattie et Timperley, 2007) ; c) ils développent des parties assez courtes, ce qui, transféré à l'enseignement, peut stimuler la perception d'un ratio « rentable » entre le temps investi et les bénéfices obtenus ; d) ils se fondent sur une interface simplifiée mettant en valeur quelques actions simples, une caractéristique qui pourrait prédisposer les mini-jeux éducatifs à l'acquisition de notions incontournables et bien délimitées, dans la lignée des réflexions actuelles sur le « micro-learning » (Arnab et al., 2021).

1.2 Jeux et motivation

Fondamentalement, la conjugaison de ces caractéristiques vise à induire chez les étudiants une motivation intrinsèque (Ryan et Deci, 2000) pour des activités d'apprentissage nécessaires mais marquées le plus souvent par une motivation extrinsèque, en raison de leur caractère répétitif et basique. Dans l'imaginaire général, la motivation intrinsèque et la motivation extrinsèque sont souvent opposées comme des blocs alors qu'un regard rigoureux sur la théorie de l'autodétermination de Ryan et Deci (2000) et précisément sur leur schéma de continuum de motivation montre bien qu'il y a plusieurs niveaux valables de motivation extrinsèque. L'accroissement de la motivation intrinsèque, ou un progrès dans la motivation extrinsèque, engendrée par la gamification de l'enseignement (Banfield et Wilkerson, 2014) peut avoir un effet bénéfique sur la performance au travers d'un plus grand engagement des étudiants dans l'activité qui, sous couvert de jeu, reste un engagement plus grand avec la matière (Burguillo, 2010 ; Hanus et Fox, 2015).

La présente étude rend compte de la mise en place du parcours ludique « World of *Chemistry* » déployant concrètement quatre mini-jeux aux mécanismes de *gamification* différents et ciblant des difficultés didactiques bien identifiées dans un cours de chimie générale de première année d'université. Cette recherche a pour objectif d'étudier les effets de la *gamification* d'activités d'entraînement facultatives sur la Participation, la Performance et la Perception (Modèle des « 3P », Verpoorten et al., 2017) des étudiants. Basée sur un dispositif expérimental, l'étude est guidée par les hypothèses suivantes :

Hypothèse 1 : Le parcours de mini-jeux pratiqué sur base volontaire est utilisé par les étudiants (données de Participation).

Hypothèse 2 : L'introduction d'un parcours de mini-jeux d'entraînement est une intervention pédagogique fonctionnelle sur le plan de la performance académique (données de Performance).

Hypothèse 3 : Le parcours de mini-jeux est apprécié à divers titres (satisfaction, perceptions d'efficience et d'utilité) par les étudiants (données de Perception).

2. Méthodologie

2.1 Le cours

La présente étude se distingue par le fait qu'elle est conduite dans le domaine de la chimie dont la maîtrise peut s'avérer complexe pour des étudiants en première année d'université. L'étude s'est précisément déroulée dans le cadre du cours de chimie générale dispensé à Gembloux Agro-Bio Tech (Université de Liège, Belgique) dont les enseignements sont de trois natures : cours magistraux, séances de résolution de problèmes et laboratoires. Dans ce contexte, le parcours ludique en ligne « *World of Chemistry* », décrit ci-après, a été proposé de manière facultative aux étudiants en complément des aides et supports de cours existants. L'autre spécificité de l'étude réside dans la présence accentuée de jeux variés qui confère à la scénarisation pédagogique du cours complet une dimension ludique inhabituelle.

2.2 Les joueurs

Au total, 223 étudiants de première année d'université en sciences de l'ingénieur, orientation bioingénieur (formation de premier cycle en trois ans) étaient inscrits au cours de chimie générale et ont eu la possibilité de prendre part aux mini-jeux constituant le parcours ludique « *World of Chemistry* ». Ces étudiants sortent, pour la plupart, d'un programme d'études secondaires en Belgique ne faisant pas l'objet d'une évaluation externe (comme le Bac en France) et ne sont pas sélectionnés sur base d'un concours ou d'un examen d'entrée, ce qui induit un public hétérogène pour lequel la mise en place d'un dispositif de soutien à l'apprentissage supplémentaire présentant une dimension ludique a du sens.

2.3 Le parcours « World of Chemistry »

« World of Chemistry » est un parcours ludique en ligne facultatif composé de quatre mini-jeux, réalisés avec des outils disponibles et peu coûteux, voire gratuits. Chacun des mini-jeux porte un nom (Tableau 1, colonne 1) proche de celui d'un mini-jeu commercial à succès (Tableau 1, colonne 2) auquel il emprunte ses **mécanismes de gamification (MG)** (Tableau 1, colonne 3). Le nom du parcours *World of Chemistry* est lui-même inspiré du nom « World of Warcraft », un autre jeu. Chaque mini-jeu couvre un point de matière identifié au préalable comme un « concept seuil » (Cousin, 2006 ; Verpoorten et al. 2017) et/ou une difficulté récurrente chez les étudiants (Tableau 1, colonne 4).

Le choix délibéré de patterns de gamification différents (Tableau 1, colonne 3) a pour but de déterminer si un type de jeu suscitait plus ou moins d'engagement qu'un autre de la part des étudiants.

Tableau 1 : Quatre mini-jeux contrastés (noms, inspirations, mécanismes de gamification, obstacles à l'apprentissage visés) forment le parcours ludique « World of Chemistry ».

Noms du mini jeu	Modèles de mini-jeux	Mécanismes de gamification (MG)	Concepts seuils ou difficultés
Chem Run	Temple run, 2048	Pass or fail Course contre le temps	Nomenclature
Clash of Chemists	Clash of clans, Coockie clicker	Création, défense, attaque Tentatives illimitées	Problèmes stœchiométriques
Chemi Crush	Candy Crush, 4 images 1 mot	Niveaux, points, classement, compte à rebours, indices	Cinétique chimique
GeoChemCaching	Farmville, Hay Day, GeoCaching	Échange de ressources Geocaching	Equilibres chimiques

Les points obtenus par les joueurs alimentent un « classement » (MG) pour chaque mini-jeu et général. Des « récompenses » (MG) sont ordonnées dans le parcours pour coïncider avec le continuum d'autodétermination de Ryan et Deci (Black et Deci, 2000 ; Ryan et Deci, 2000) allant d'une régulation externe (point bonus à l'examen ou accès conditionnel à un laboratoire) à une régulation de plus en plus intégrée, touchant à la motivation intrinsèque pour le dernier mini-jeu (Figure 1).

Figure 1 : Un dispositif graduel, organisé selon le continuum d'autodétermination de Ryan et Deci (en orange), ordonne l'octroi de récompenses (MG) sur le parcours (en vert). Le dégradé de vert indique la progression croissante des jeux dans le soutien d'une motivation intrinsèque.

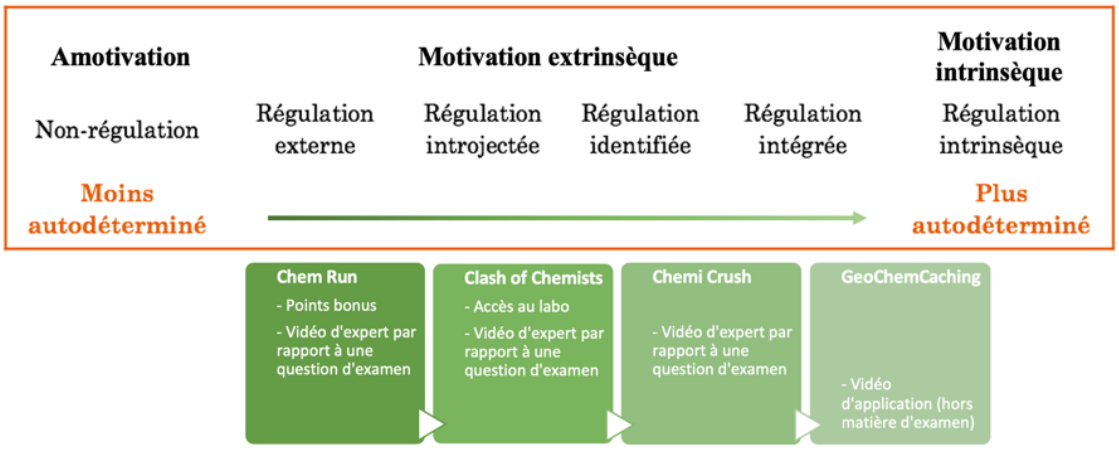
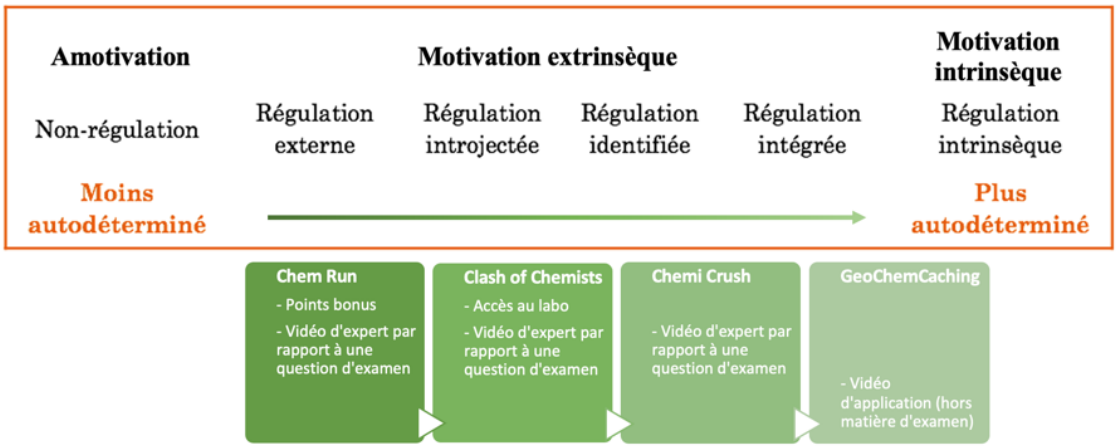


Figure 1 : Un dispositif graduel, organisé selon le continuum d'autodétermination de Ryan et Deci (en orange), ordonne l'octroi de récompenses (MG) sur le parcours (en vert). Le dégradé de vert indique la progression croissante des jeux dans le soutien d'une motivation intrinsèque.

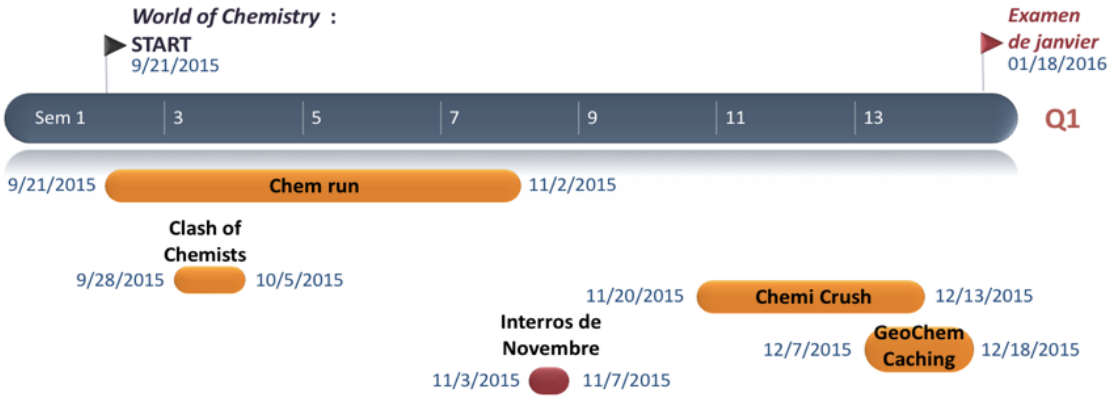


Les récompenses octroyées aux joueurs et divers autres éléments personnels tels que la curiosité, le souhait d'améliorer ses connaissances ou encore l'esprit de compétition généré par les classements (MG) visent à faire évoluer la motivation des étudiants sur ce continuum et leur engagement dans les mini-jeux.

Ce parcours a été présenté en début d'année académique comme un complément facultatif aux autres supports de cours plus classiquement utilisés. L'initiative s'inscrit donc dans la perspective pédagogique d'une « écologie d'apprentissage » (Vincke et al., 2014) que les mini-jeux viennent enrichir. Un espace en ligne dédié à « World of Chemistry » a été créé dans Blackboard Learn (plateforme d'apprentissage utilisée à l'Uliège) pour accueillir les différents mini-jeux, la description de leurs règles, les classements de joueurs ainsi que les récompenses sous forme de vidéos.

Ces mini-jeux ont été rendus disponibles progressivement aux étudiants à l'issue des cours théoriques et travaux pratiques portant sur la matière ciblée dans ceux-ci. La ligne du temps ci-dessous (Figure 2) indique les périodes d'activation et de disponibilité des mini-jeux.

Figure 2 : Le parcours « World of Chemistry » répartit les mini-jeux sur le premier quadrimestre.



Les caractéristiques précises de chacun des mini-jeux sont à présent décrites.

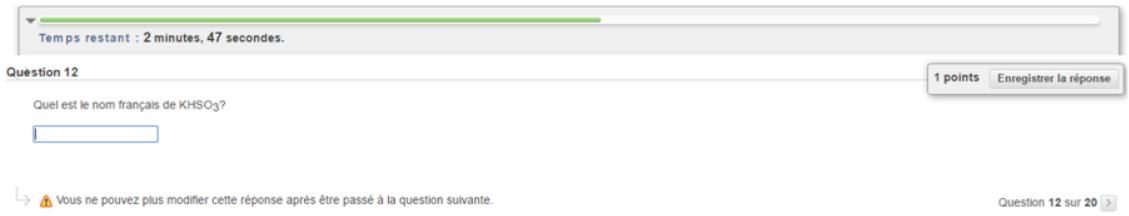
2.3.1 Chem Run

Chem Run vise le renforcement de l'étude systématique de la nomenclature des composés minéraux dont la maîtrise est indispensable pour la compréhension du cours de chimie générale et la réalisation des exercices et séances de laboratoire. Ne pas maîtriser cette nomenclature en chimie s'apparente à ne pas maîtriser le vocabulaire d'une langue qu'on souhaiterait parler.

L'étude de la nomenclature étant favorisée par la répétition d'exercices permettant les allers-retours entre le nom et la formule des composés, le principe du mini-jeu qui a été choisi est un drill de 20 questions (du nom vers la formule chimique et inversement), sélectionnées aléatoirement (MG) dans une base de 320 questions, apparaissant successivement à l'écran et auxquelles il faut répondre sans aucune erreur (MG) en maximum 6 minutes (MG) pour gagner la partie. Comme dans l'étude d'une langue, la moindre faute d'orthographe est sanctionnée et la rigueur dans l'utilisation des majuscules et des minuscules pour les symboles chimiques ainsi que des parenthèses est de mise comme lors de l'évaluation du cours. Le nombre de tentatives pour atteindre le 20/20, synonyme de victoire, est illimité (MG) pendant la période de durée du jeu, soit 6 semaines. En cas de victoire, des points (MG) pour le classement propre au jeu et le classement général sont attribués aux joueurs et deux récompenses (MG) leur sont octroyées : un point bonus à la question de nomenclature de l'interrogation de novembre (correspondant à 0,1/20 de la note globale du cours) et une vidéo d'interview d'un expert face à une question d'examen portant sur la nomenclature des composés minéraux.

L'outil utilisé pour la conception de Chem Run est l'outil « examen » de la plateforme d'apprentissage (Blackboard Learn) (Figure 3). Cet outil permet la mise en place d'un compte à rebours, la création d'une banque de questions importantes et de questionnaires inédits à chaque tentative grâce à une sélection aléatoire des questions dans le pool de questions correspondant. Enfin, le suivi des performances de chaque étudiant pour la mise à jour des classements et l'attribution des récompenses sont facilités par l'authentification des étudiants lors de leur connexion à la plateforme d'apprentissage. La Figure 3 rend compte de l'aperçu d'une question de Chem Run avec le compte à rebours au-dessus passant du vert, à l'orange et puis au rouge au fur et à mesure que le temps de jeu se réduit.

Figure 3 : Chem Run mobilise un compte-à-rebours pour la réponse à des questions portant sur la nomenclature des composés minéraux.



2.3.2. Clash of Chemists

Clash of Chemists vise le renforcement de la compréhension des notions de problème stœchiométrique, de réactif en excès et de réactif limitant.

L'objectif du mini-jeu est que les étudiants proposent, dans un blog, une/des analogie(s) représentant la différence entre des conditions de réaction stœchiométrique et non-stœchiométrique. Le principe de gamification principal consiste à pouvoir attaquer les autres joueurs (MG) et à se défendre (MG) comme dans le jeu « Clash of clans » dans le sens où chaque analogie proposée par un étudiant peut être visualisée et attaquée par les autres s'ils ne la considèrent pas correcte et chacun a la possibilité de se défendre ensuite en proposant une analogie corrigée pour riposter (Figure 4). La participation à

ce mini-jeu conditionne l'accès à une séance de laboratoire formative pour les étudiants ainsi qu'à une vidéo d'interview d'un expert face à une question d'examen portant sur un problème stœchiométrique. Un descriptif plus détaillé de ce mini-jeu est fourni dans l'article de le Maire et al. (2018).

Figure 4 : Clash of Chemists organise un « combat » d'analogies représentant la différence entre des réactions stœchiométriques et non-stœchiométriques.



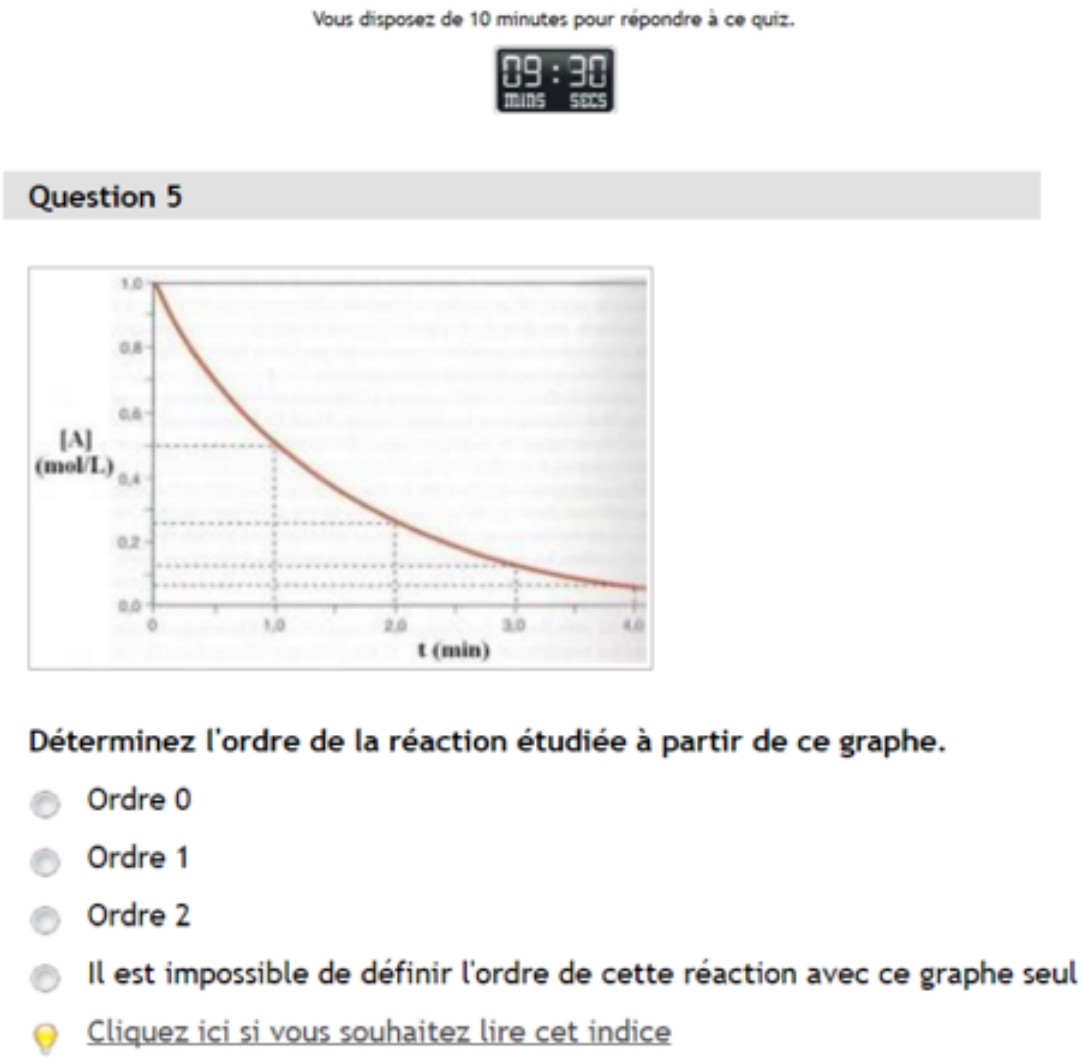
2.3.3. Chemi Crush

La cinétique chimique est ciblée dans Chemi Crush car la vitesse des réactions est souvent confondue par les étudiants avec la notion d'équilibre chimique abordée dans le dernier jeu : GeoChemCaching.

Certaines questions d'examen portant sur la cinétique chimique étant posées sous forme de questionnaire à choix multiple, il s'avérait intéressant d'entraîner les étudiants à ce mode d'évaluation. Pour ce faire, le format de jeu mis en place est un quiz *gamifié* (Figure 5) présentant quatre niveaux de difficulté croissante (MG), un compte à rebours (MG), des indices en cas de difficulté (MG), un classement des joueurs (MG) et une situation par rapport à la communauté pour chaque niveau de jeu (MG). Chaque niveau est constitué de 15 questions à choix multiple. Le passage au niveau supérieur est conditionné par la réussite d'au minimum deux tiers de ces questions. Les niveaux supérieurs sont débloqués au fur et à mesure (MG) pour chaque étudiant par l'assistant(e) du cours dès réception par mail d'une capture d'écran du résultat obtenu par un joueur à un niveau inférieur. La réussite de chaque niveau permet d'obtenir des points (MG) pour le classement propre du jeu et le classement général des joueurs et de débloquer (MG) une partie d'une vidéo de l'interview d'un expert face à une question d'examen portant sur la cinétique chimique. La vidéo complète de la résolution n'est donc octroyée que lorsque l'étudiant réussit les quatre niveaux de jeu.

Le site de création de quiz en ligne http://fr.quizity.com a été choisi pour créer ce mini-jeu car l'outil avait déjà été utilisé lors d'une précédente étude (le Maire et al., 2017) pour entraîner un autre point de matière et celui-ci avait été apprécié par les étudiants. Dans la présente étude, c'est la version présentant la *gamification* maximale qui est utilisée.

Figure 5 : Dans Chemi Crush, la cinétique chimique est travaillée au moyen d'un quiz gamifié.



2.3.4. GeoChemCaching

Afin d'entraîner les étudiants à faire la différence entre la vitesse des réactions et les équilibres chimiques, le quatrième mini-jeu du parcours vise le renforcement de l'application de cette notion au travers d'exercices portant sur les équilibres. L'équilibre chimique peut être considéré comme un concept seuil (Ganaras, 1998 ; Loertscher et al., 2014) puisque chaque réaction peut être vue comme telle même si cet équilibre est plus ou moins déplacé en fonction des conditions. On ne peut donc pas aborder la réactivité des composés chimiques sans maîtriser la notion d'équilibre.

GeoChemCaching est basé sur le principe du Geocaching (MG). En effet, sur base de coordonnées GPS communiquées aux étudiants sur la plateforme d'apprentissage Blackboard Learn, ceux-ci peuvent partir à la recherche successivement de trois « GeoChemCaches » dans le parc entourant la faculté de Gembloux Agro-Bio Tech. Une « GeoChemCache » est une boîte en plastique contenant un carnet et un stylo bille pour indiquer la date de son passage ainsi que la résolution d'un exercice portant sur les équilibres chimiques (Figure 6). La particularité de cette résolution est que l'étudiant y a volontairement introduit une ou des erreur(s). Le principe du mini-jeu est que les étudiants récupèrent une résolution d'exercice portant sur les équilibres chimiques truffée d'erreurs et l'échangent contre une résolution,

fausse également, d'un autre exercice concocté par leurs soins. Une fois la résolution récupérée, il est demandé aux étudiants de repérer les erreurs, de les corriger et d'envoyer une photo ou un scan de leur correction à l'assistant(e) du cours de chimie générale afin qu'il ou elle valide la résolution proposée. L'objectif d'apprentissage est de pousser les étudiants, dans un premier temps, à réfléchir aux erreurs qu'ils pourraient faire et deuxièmement, de leur apprendre à retrouver des erreurs faites par d'autres. Ce faisant, l'étudiant se rend attentif aux difficultés attachées au domaine et dont découlent souvent des erreurs lors des examens afin d'y être eux-mêmes plus attentifs lors de l'évaluation. La visite de la cache ainsi que l'envoi de la correction de la résolution échangée permettent aux joueurs d'obtenir des points (MG) pour le classement propre au mini-jeu et le classement général des joueurs ainsi que l'accès à une vidéo (MG) présentant une application d'un équilibre chimique. Les coordonnées GPS des deuxième et troisième « GeoChemCaches » ont été divulguées aux étudiants au fur et à mesure de la découverte des caches précédentes.

Figure 6 : Chaque GeoChemCache contient un carnet, un stylo bille et une résolution d'exercice portant sur les équilibres chimiques truffée d'erreurs à corriger.





Pour ce mini-jeu, les outils utilisés sont une application de géolocalisation pour obtenir les coordonnées GPS des « GeoChemCaches », la plateforme d'apprentissage pour communiquer ces coordonnées aux étudiants, un service de cartographie en ligne pour identifier le lieu de la cache en fonction des coordonnées et le courriel pour envoyer les résolutions d'exercices corrigés.

2.4. Sources de données et traitements statistiques

2.4.1. Participation (hypothèse 1)

La participation est établie à partir de deux sources de données : a) le fait d'avoir ou non fait le choix de jouer (réponse binaire pour chaque jeu, qui distingue, dans la cohorte, ceux qui ont fait l'expérience de ce jeu, quel que soit le degré d'implication), b) la persévérance dans chaque mini-jeu, ce qui donne cette fois une idée du niveau d'engagement de l'étudiant dans la ressource offerte. Les facteurs de persévérance au sein des mini-jeux diffèrent d'un jeu à l'autre. Pour Chem Run, il s'agit du score maximum atteint (/20). Pour Clash of Chemists, c'est le nombre d'analogies proposées qui indique la persévérance. Dans le cas de Chemi Crush, plus le niveau atteint par l'étudiant est élevé, plus on considère qu'il a été persévérant. Enfin, pour GeoChemCaching, c'est le nombre de « GeoChemCaches » visitées qui informe sur l'engagement dans le mini-jeu.

2.4.2. Performance (hypothèse 2)

Les données de performance traitées sont les suivantes :

- Note sur 40 obtenue par l'étudiant à un test diagnostic de chimie générale passé en début de quadrimestre avant le premier cours. Cette note permet de connaître et de contrôler le niveau de l'étudiant à l'entrée dans le cours.
- Note sur 20 obtenue par l'étudiant à l'examen global du cours de chimie générale de janvier ; cette note permet de connaître le niveau de l'étudiant à la sortie du cours.

Une classification hiérarchique ascendante, effectuée, selon la méthode de Ward, avec le logiciel R, a combiné ces données avec le nombre de mini-jeux du parcours auquel l'étudiant a participé (de 0 à 4), faisant apparaître un dendrogramme ventilant les 157 étudiants pour lesquels les données étaient disponibles en 6 clusters pertinents aux caractéristiques identifiées.

La dichotomisation en deux groupes de participation aux mini-jeux (0 ou 1 d'un côté et 2, 3 ou 4 de l'autre) s'inscrit dans l'effort de tracer plus finement d'éventuels effets des jeux jusque dans la performance de l'examen et donc, de voir si les jeux rendent les forts encore plus forts ou si, au contraire, ils génèrent des effets de rattrapage. Pour cela, des clusters qui contrôlent le niveau de départ (faible, moyen, bon) et une dichotomisation basée sur le recours plus ou moins appuyé au jeu ont été utilisés.

2.4.3. Perception (hypothèse 3)

Les données de perception sont issues de questionnaires en ligne remplis à l'issue de chaque mini-jeu par les étudiants participants. Standardisés, afin de permettre la comparaison inter-jeux, ces instruments contenaient les affirmations présentes dans le tableau de l'Annexe 1 évaluées sur des échelles de Likert à 5 points (1 : pas du tout d'accord, 2 : pas d'accord, 3 : neutre, 4 : d'accord, 5 : tout-à-fait d'accord). L'appréciation et l'utilité perçue sont les aspects qui ont été étudiés via ces enquêtes. Deux questions ouvertes portant sur les points forts et les points faibles des mini-jeux clôturaient ces questionnaires.

Une enquête globale portant sur l'ensemble du parcours a également été soumise aux étudiants sous format papier à l'issue de l'examen portant sur le cours de chimie générale lors de la session d'examens de janvier qui suivait la mise en place du parcours ludique. Deux types de questions ont été posées (Annexe 2) : d'une part, des questions relatives à l'appréciation du parcours ludique (questions 1 et 2) et d'autre part, des questions relatives à l'efficience du dispositif (question 3 et 4).

Toutes les comparaisons de perceptions entre les différents mini-jeux recourent à une analyse de la variance (ANOVA) à deux critères de classification (facteur fixe : questionnaire et facteur aléatoire : étudiant) réalisée au moyen du logiciel Minitab 17.

Pour situer les différences significatives mises en évidence par l'ANOVA, des analyses post-hoc (méthode de Tukey) ont été effectuées sur les moyennes. Le résultat des analyses post-hoc sont repris dans les tableaux de résultats sous forme de lettres majuscules (A et B) en exposant. Les moyennes ne partageant pas au moins une même lettre sont significativement différentes.

En outre, l'efficience perçue des mini-jeux a été calculée selon la formule proposée par Elen et Lowyck (1998). Cette efficience est définie comme la différence entre la contribution des mini-jeux à la maîtrise de la matière du cours de chimie générale, telle que rapportée par les joueurs sur une échelle, et le temps consacré à ces mêmes mini-jeux, rapporté lui aussi sur une échelle. Lorsque le résultat de la différence est positif, cela indique que l'étudiant voit dans le mini-jeu un bon rapport « temps investi/bénéfice obtenu ». Lorsque le résultat est négatif, l'étudiant voit à l'inverse le mini-jeu comme non efficient pour son étude de la matière. Plus la valeur est éloignée de 0, plus l'efficience/inefficience perçue est élevée.

3. Résultats

3.1 Participation

Les données de participation collectées permettent de répondre à la **première hypothèse** de recherche selon laquelle *le parcours de mini-jeux pratiqué sur base volontaire est utilisé par les étudiants.*

Au total, 171 étudiants sur 223 inscrits au cours de chimie générale ont pris part à au moins un des quatre mini-jeux composant « World of Chemistry », soit 76,7 % d'entre eux. Le tableau 2 rend compte du nombre de participants à chaque mini-jeu ainsi que de la persévérance des joueurs au sein de chaque mini-jeu, ces derniers ayant été rendus accessibles à des périodes différentes (première colonne) du quadrimestre comptant un total de 14 semaines de cours. Le même pattern de décroissance de participation inter-jeux s'observe intra-jeux.

Tableau 2 : Participation décroissante aux mini-jeux en avançant dans le parcours ludique ainsi qu'au sein même des mini-jeux.

Semaines du quadrimestre	Mini-jeux	Nombre total de joueurs	Indicateurs de persévérance	Nombre de joueurs
2 à 7	Chem run	164	Score maximum atteint (/20)	Score = 20 : 28 (17 %) 10 < Score < 20 : 95 (58 %)
3	Clash of Chemists	107*	Nombre d'analogies proposées	1 analogie : 98 2 analogies : 8
11 à 13	Chemi Crush	48	Niveau maximal terminé	Aucun : 25 Niveau 1 : 5 Niveau 2 : 6 Niveau 3 : 3 Niveau 4 : 9
13 et 14	GeoChemCaching	8	Nombre de visites par cache	Cache 1 : 8 Cache 2 : 6 Cache 3 : 6

*Certains participants n'ont pas proposé d'analogie mais ont commenté/corrigé celles des autres et, à l'inverse, quelques joueurs ont proposé plusieurs analogies.

3.2 Performance

Afin de confirmer l'**hypothèse 2** selon laquelle *l'introduction d'un parcours de mini-jeux d'entraînement est une intervention pédagogique fonctionnelle sur le plan de la performance académique,* 157 étudiants ont été classés en 6 « clusters » représentant des profils différents par comparaison de leurs notes obtenues à l'examen de janvier par rapport à un profil de départ (résultat au test de connaissances de base de début d'année) en fonction du nombre (0 ou 1 et 2, 3 ou 4) de mini-jeux auxquels ils avaient participé. Les 6 clusters, présentés dans le tableau 3, montrent que pour un profil d'étudiant similaire en début d'année, ceux ayant participé à un plus grand nombre de mini-jeux (2, 3 ou 4) obtiennent de meilleurs résultats à l'examen de chimie générale de janvier (première session d'examen après « World of Chemistry »). Par exemple, les étudiants du cluster 5 avaient obtenu de faibles résultats au test de connaissance de début d'année tout comme ceux du cluster 6. Ayant participé à un plus grand nombre de mini-jeux (2, 3 ou 4) que ceux du cluster 6 ayant pris part à maximum un mini-jeu, les étudiants du cluster 5 ont mieux réussi leur examen de chimie générale que ceux du cluster 6. Cette comparaison entre clusters correspondant à des profils de départ similaires peut également être faite entre les clusters 1 et 2 et entre les clusters 3 et 4.

Tableau 3 : Pour un profil de départ similaire, quel qu'il soit, les étudiants ayant participé à un plus grand nombre de mini-jeux (de 0 à 4) ont obtenu un meilleur résultat à l'examen.

CLUSTER	Nombre d'étudiants par cluster (N)	Caractéristiques des étudiants				
		Profil de départ des étudiants	Participation aux jeux		Résultats à l'examen	
			Faible	Élevée	-	+
1	15	Bons		X		X
2	15	Bons	X		X	
3	33	Moyens		X		
4	20	Moyens	X		X	
5	35	Faibles		X		X
6	39	Faibles	X		X	

3.3. Perception

L'analyse des réponses des étudiants aux différentes enquêtes réalisées vise à confirmer l'**hypothèse 3** selon laquelle *le parcours de mini-jeux est apprécié à divers titres (satisfaction, perceptions d'efficience et d'utilité) par les étudiants.*

Le tableau 4 rend compte du nombre de joueurs ayant répondu aux différentes enquêtes. En plus des joueurs, un total de 20 non-joueurs a répondu aux enquêtes soumises à l'issue de chaque mini-jeu et 45 étudiants n'ayant joué à aucun mini-jeu ont répondu à l'enquête globale. Ceux-ci ont été essentiellement interrogés sur les raisons pour lesquelles ils n'ont pas pris part aux jeux.

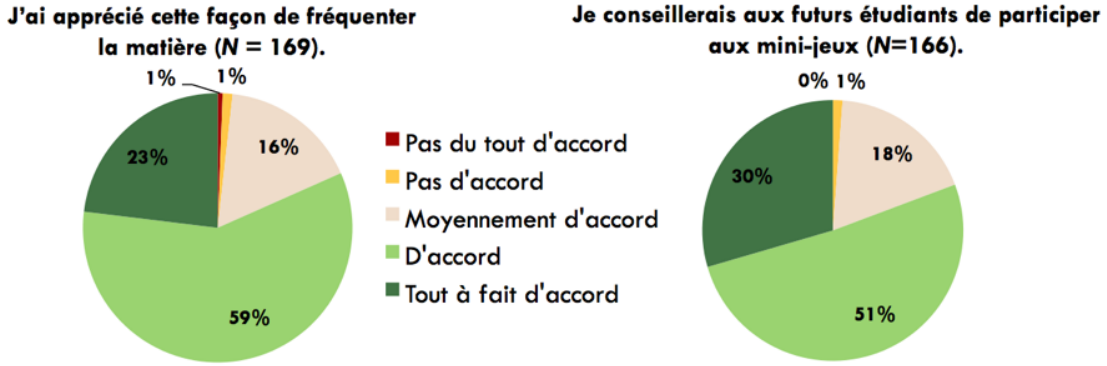
Tableau 4 : Nombre de joueurs et de non-joueurs ayant répondu aux différentes enquêtes.

Enquête	Nombre de répondants	
	Joueurs	Non-joueurs
Chem run	58	1
Clash of Chemists	42	9
Chemi Crish	18	4
GeoChemCaching	6	6
Globale	171	45

3.3.1. Satisfaction

Les réponses à l'enquête globale montrent que le parcours ludique a été apprécié par les étudiants dans son ensemble (Figure 7).

Figure 7 : Plus de 80 % des étudiants interrogés ont apprécié de travailler leur cours de chimie générale en jouant et conseilleraient aux futurs étudiants de faire de même.



L'ANOVA réalisé sur les réponses aux questions identiques posées dans les enquêtes soumises après chaque mini-jeu a permis de mettre en évidence une différence significative quant à l'appréciation des mini-jeux, Chem Run et Chemi Crush ayant été plus appréciés que Clash of Chemists (Tableau 5). Par exemple, dans la ligne de l'item 1, la lettre A est présente pour trois mini-jeux, ce qui signifie qu'il n'y a pas de différence significative entre ceux-ci. Par contre, la lettre B est présente pour Clash of Chemists et pas pour Chem Run et Chemi Crush, ce qui indique une différence significative entre eux.

Tableau 5 : Les mini-jeux Chem run et Chemi Crush ont été plus appréciés que Clash of Chemists.

Item	Chem run	Clash of Chemists	Chemi Crush	GeoChem Caching	ANOVA
	M (ET)	*M (ET)*	*M (ET)*	*M (ET)*	
1. Je pense que j'aimerais utiliser ce genre de mini-jeux plus fréquemment.	4.35^{A} (.64)	3.40^{B} (.96)	4.28^{A} (.16)	3.50^{AB} (1.05)	$F(3,117) = 13.2$, $p = .000$, $\eta_p^2 = .15$
2. J'ai beaucoup aimé participer à ce mini-jeu.	4.21^{A} (.64)	3.50^{B} (.91)	4.22^{A} (.54)	4.17^{AB} (.75)	$F(3,118) = 8.35$, $p = .000$, $\eta_p^2 = .096$
3. Je conseillerais aux étudiants n'ayant pas participé de jouer à ce mini-jeu.	4.48^{A} (.57)	3.52^{B} (.93)	4.28^{A} (.67)	4.00^{AB} (.63)	$F(3,117) = 14.2$, $p = .000$, $\eta_p^2 = .15$

*Pour chaque item, les moyennes des jeux ne partageant pas une lettre (A ou B), dans une même ligne du tableau, sont significativement différentes.

Au-delà des chiffres, l'appréciation des mini-jeux et leur côté amusant font partie des points forts mentionnés par les étudiants dans les enquêtes soumises après leur participation. Sur 46 étudiants ayant laissé un commentaire positif à la fin de l'enquête relative à Chem Run, 28 % ont trouvé le mini-jeu amusant et 22 % ont mentionné avoir apprécié la variété des questions et leur présentation aléatoire à chaque tentative : « J'ai pu voir TOUTE la nomenclature grâce à ce jeu et surtout les exceptions ». 18 % des étudiants interrogés par rapport à Clash of Chemists ont, eux, apprécié l'interactivité avec les autres joueurs et l'ont trouvé amusant : « Clash of Chemists est une chouette alternative au cours théorique. C'est bien plus amusant ». Trois des six étudiants ayant mentionné des points forts pour GeoChemCaching l'ont dit également amusant : « Ce jeu permet d'allier l'utile à l'agréable ».

3.3.2. Efficience et utilité perçues

Appliquée au parcours, la formule définie par Elen et Lowyck (1998) fait apparaître celui-ci comme efficient aux yeux des joueurs ayant participé à au moins un jeu. La formule repose sur une différence de moyennes (échelles de 1 à 5) entre la perception de temps investi dans le jeu et la perception de retour sur cet investissement au moment de l'examen. Le ratio temps investi/bénéfice pour l'étude du cours s'établit ainsi à + 0,20 (les valeurs pouvant se situer entre -4 et +4) signifiant que les étudiants considèrent leur investissement en temps passé à jouer comme rentable (Tableau 6).

Tableau 6 : Pour les joueurs, les mini-jeux représentent un « bon investissement ».

Contribution	M (/5)	Écart-type	Efficience
Étude	2.51	.93	2.51 – 2.31 = 0.20
Temps	2.31	.80	

Au sein des enquêtes relatives à chaque mini-jeu, l'utilité perçue par les joueurs a également été évaluée au moyen de deux items. L'ANOVA réalisé pour comparer les moyennes obtenues pour les différents mini-jeux montre que Chem Run et Chemi Crush ont été perçus comme plus utiles que Clash of Chemists (Tableau 7).

Tableau 7 : Les mini-jeux Chem Run et Chemi Crush ont été perçus comme plus utiles que Clash of Chemists.

Item	Chem run	Clash of Chemists	Chemi Crush	GeoChem Caching	ANOVA
	M (ET)	*M (ET)*	*M (ET)*	*M (ET)*	
1. Je pense que jouer à ce jeu m'a été utile pour améliorer ma compréhension.	4.38^{A} (.86)	3.28^{B} (1.17)	4.39^{A} (.61)	3.83^{AB} (1.17)	$F(3,117) = 11.46$, $p = .000$, $\eta_p^2 = .13$
2. Je trouve que ce mini-jeu est complémentaire des autres supports du cours sur cette matière.	4.47^{A} (.57)	3.63^{B} (.98)	4.44^{A} (.51)	3.83^{AB} (.75)	$F(3,117) = 11.88$, $p = .000$, $\eta_p^2 = .13$

*Pour chaque item, les moyennes des jeux ne partageant pas une lettre (A ou B), dans une même ligne du tableau, sont significativement différentes.

Parmi les points forts relevés par les répondants dans les enquêtes soumises après la participation aux mini-jeux, on retrouve l'efficacité et l'utilité perçue par les étudiants dans l'amélioration de leurs connaissances. En effet, 59% ont indiqué que Chem Run leur a permis d'améliorer leurs connaissances en nomenclature. Par exemple, on peut lire dans les commentaires de étudiants : « Chem Run m'a permis de progresser rapidement en nomenclature sans avoir l'impression d'étudier des règles par cœur ». Parmi les 33 commentaires positifs laissés par les étudiants à propos de Clash of Chemists, l'aspect le plus important était que ce jeu permet d'améliorer la compréhension du concept (30 %) et encourage la réflexion (18 %). 58 % des étudiants interrogés à propos de Chemi Crush ont, eux, indiqué

que ce mini-jeu leur avait permis d'améliorer leurs connaissances en cinétique chimique. On a, par exemple, pu lire : « Ce jeu permet l'amélioration de nos connaissances et de notre compréhension de la cinétique chimique. Il permet de manière rapide et efficace la révision de tout le chapitre et les corrections proposées nous expliquent clairement quelles sont nos erreurs ».

3.4. Points faibles

Différents points faibles ont été épinglés par les joueurs dans la question ouverte relative à ceux-ci.

Pour Chem Run, 39 étudiants ont mentionné des points faibles dont les plus fréquemment cités sont le temps réduit accordé pour répondre (38 %) et l'obligation de charger une nouvelle page à chaque question, ce qui est responsable d'une perte de temps en cas de mauvaise connexion à Internet (23 %). Par exemple, on peut lire « passer de page en page prend énormément de temps et si nous le faisons à partir d'un ordinateur un peu lent ou avec une connexion internet trop faible, il n'est pas facile de finir la partie car beaucoup de temps est perdu dans le chargement de page ».

Pour Clash of Chemists, parmi 28 commentaires, on relève comme points faibles la compétition (21 %) : « je n'aime pas le concept de devoir clasher les autres pour pouvoir monter dans le classement », le fait que le mini-jeu prenne du temps (18 %), l'interface et l'ergonomie (18 %) et le fait que la participation ait été « obligatoire » (18 %) puisqu'elle conditionnait l'accès au laboratoire.

Pour Chemi Crush, six étudiants ont fait part des points faibles et trois d'entre eux ont mentionné le manque d'automatisation du passage aux niveaux supérieurs du jeu : « ce n'est pas très pratique de devoir envoyer un mail avec une capture d'écran à chaque fin de niveau, ce serait plus efficace si cela était automatique ».

Pour ce qui est des points faibles de GeoChemCaching, six répondants considèrent que le mini-jeu est arrivé trop tard dans le quadrimestre, à un moment où les étudiants préfèrent mettre leurs notes en ordre ou rédiger des synthèses, d'autant plus que la recherche des caches pouvait prendre du temps : « cela prend du temps d'aller chercher les boites mais le jeu perdrait une partie de son intérêt s'il ne fallait pas les chercher ».

4. Discussion

La présente étude livre des résultats encourageant quant à la pertinence de gamifier des activités d'entraînement facultatives en chimie générale à l'université en regard des trois hypothèses de recherche de départ.

Hypothèse 1 : *Le parcours de mini-jeux pratiqué sur base volontaire est utilisé par les étudiants.*
La participation, particulièrement pour des activités pratiquées sur base volontaire, est remarquable surtout pour les deux premiers jeux du parcours. Près de trois quarts des étudiants inscrits au cours ont pris part à Chem Run et la moitié à Clash of Chemists alors que ces deux mini-jeux présentaient des règles et des caractéristiques assez différentes. Le point commun majeur entre ceux-ci est le type de récompense octroyée qu'on situerait comme une régulation externe sur le continuum d'autodétermination de Ryan et Deci (2000) (Figure 1). On observe ici un attrait habituel des étudiants pour ce qui rapporte des points pour l'examen (récompense extrinsèque proposée dans Chem Run) mais qui visiblement profite à l'engagement dans le jeu. Il semble, cependant, que certains étudiants, plus curieux ou plus compétiteurs, soient entrainés dans les autres jeux quelles que soient les récompenses puisque la participation à Chemi Crush est non-négligeable (21 % des étudiants) et puisque 8 étudiants se sont également pris au jeu de GeoChemCaching. Cette baisse de la participation au cours du parcours, liée probablement au type de récompenses, est également imputable à la période pendant laquelle les mini-jeux ont été rendus disponibles, à la rentabilité de ceux-ci et à la fatigue grandissante des étudiants alors que le quadrimestre avance. De plus, la section sur les points faibles montre que les jeux ne sont pas appréciés de manière identique. En effet, certains étudiants ne semblent pas avoir apprécié le recours à certains mécanismes de gamification (MG), notamment dans « Clash of Chemists ». Il serait intéressant, dans des travaux futurs, de croiser cela avec les habitudes de jeu des participants. Il est possible que ceux qui n'apprécient pas ne soient pas des joueurs et qu'ils

ne réagissent donc pas de la même manière aux mécanismes de gamification, soit par manque de goût, soit par manque d'expérience.

On observe également une participation aux mini-jeux d'étudiants de tous les niveaux (données de participation). Les mini-jeux proposés échappent ainsi à une critique fréquente des dispositifs mis en œuvre pour favoriser l'apprentissage : « seuls ceux qui n'en ont pas besoin y participent ». L'analyse des clusters confirme que les mini-jeux profitent aux étudiants moyens et faibles (données de performance) qui sont volontaires pour s'entraîner avec les mini-jeux. Ces observations lestent potentiellement les mini-jeux d'un certain effet de rattrapage qui confère à ceux-ci, sous réserve d'études supplémentaires, un intérêt pour la recherche sur des pédagogies plus inclusives.

Hypothèse 2 : *L'introduction d'un parcours de mini-jeux d'entraînement est une intervention pédagogique fonctionnelle sur le plan de la performance académique.*
Une intervention est fonctionnelle quand elle sert l'objectif pédagogique pour lequel elle a été conçue. Si l'objectif était bien la performance, c'est-à-dire la réussite à l'examen, il semble qu'elle soit fonctionnelle. L'étude a montré que les étudiants ayant participé à un plus grand nombre de mini-jeux ont mieux réussi à l'examen. Devant pareil constat, il est habituel et légitime de questionner l'ordre des causes : est-ce le dispositif proposé qui cause une performance supérieure ou sont-ce les étudiants les plus performants qui exploitent le dispositif ? Cependant, l'étude ayant prévu de contrôler le niveau de connaissance des étudiants en début d'année et l'établissement de clusters avec les profilés identiques, permet de montrer que pour un profil de départ similaire (bon, moyen ou faible), les étudiants ayant pratiqué un plus grand nombre de mini-jeux du parcours ont mieux réussi à l'examen. On peut donc, dans le cas présent, affirmer que contrairement à ce cliché de la pédagogie « ce sont les étudiants qui en ont le moins besoin qui exploitent toutes les aides à la réussite », les mini-jeux bénéficient à tous les étudiants volontaires : profils forts comme profils faibles. Ainsi, la mise à disposition d'activités d'entraînement gamifiées au sein d'un cours permet un soutien à l'apprentissage de type « démocratique » - servant et les « nantis » et ceux qui le sont moins - et non purement « aristocratique », accroissant les écarts. Cela renforce l'intérêt d'une réflexion méthodique des enseignants sur la possibilité de proposer dans leurs écologies d'apprentissage (Maina et Garcia, 2016) l'un ou l'autre mini-jeu puisqu'il semble que cela puisse bénéficier à l'ensemble d'une cohorte.

Hypothèse 3 : *Le parcours de mini-jeux est apprécié à divers titres (satisfaction, perceptions d'efficience et d'utilité) par les étudiants.*
Le parcours proposé aux étudiants a été globalement apprécié et la participation aux mini-jeux considérée comme rentable. Deux mini-jeux se démarquent du point de vue de l'appréciation et de l'utilité : Chem Run et Chemi Crush. Ces deux mini-jeux ont comme point commun principal qu'ils relèvent d'une forme d'« exercisation » (Leclercq et Poumay, 2008) *gamifiée*. Dans les deux cas, il s'agit de répondre à des questions à l'aide de réponses courtes uniques, le tout étant enrobé de compte à rebours (MG), classement de joueur (MG), indices (MG), niveaux de difficulté (MG), récompense (MG)… Ce type de jeux est sans doute plus apprécié et considéré comme plus utile par les étudiants, car il correspond mieux au type d'évaluations auxquelles ils sont confrontés en période d'examen. En effet, le mini-jeu Clash of Chemists est certainement très utile car, en invitant les étudiants à créer leur propre analogie pour comprendre la notion de stœchiométrie, ils sont obligés de comprendre le concept avec précision pour l'expliquer à leur manière. Ils développent ainsi une forme d'apprentissage en profondeur (Romano, 1991). Cependant, les étudiants, eux-mêmes, considèrent ce mini-jeu comme moins utile car, alors qu'ils favorisent généralement une approche stratégique (Entwistle et Ramsden, 1983), à aucun moment dans l'évaluation du cours, on ne leur posera directement ce type de question.

Au regard de la participation des étudiants aux différents mini-jeux du parcours, on se rend compte que malgré l'absence de récompense (MG) extrinsèque forte dans Chemi Crush et un possible essoufflement au fil du parcours, la participation enregistrée reste remarquable, probablement parce que ce dernier est perçu comme utile pour l'apprentissage. Cette perception d'utilité rend les résultats interprétables non seulement à partir du modèle de Ryan et Deci (référence dans le monde anglo-saxon) mais aussi de celui de Viau (1994, référence dans le monde francophone). Il semblerait donc que l'application d'éléments de *gamification* à des activités d'entraînement proches des conditions d'évaluation soit plus appréciée, perçue comme plus utile et suscite un plus grand engagement.

Le faible taux de participation à GeoChemCaching rend les comparaisons aux autres mini-jeux compliquées mais on peut cependant supposer que celui-ci a été indirectement considéré comme moins rentable puisque 4 répondants sur 6 considéraient que la recherche des GeoChemCache prenait beaucoup de temps.

Le pari de départ était de créer un parcours ludique de quatre mini-jeux différents à peu de frais en bricolant avec des outils disponibles. Pari réussi ? Oui… en partie ! En effet, chacun des quatre mini-jeux a été créé et tous ont été pris en main par plus ou moins d'étudiants. La variabilité de la participation aux quatre jeux, de leur appréciation et de l'utilité perçue de ceux-ci montre qu'il reste néanmoins difficile de concevoir un mini-jeu réussi aux yeux de tous les étudiants, ceci étant renforcé par certaines de leurs critiques : problème de connexion internet ne permettant pas de finir le jeu dans les temps (Chem Run), manque d'ergonomie (nécessité de devoir cliquer sur « suivant » au lieu de presser la touche « enter »), utilisabilité faible (lourdeur de devoir envoyer une capture d'écran pour accéder au niveau supérieur), placement adéquat du jeu dans le trimestre (GeoChemCaching trop proche des révisions), perception variable des étudiants du bon niveau de compétition/émulation… On peut dès lors s'interroger sur le fait que peut-être une forme d'investissement dans le développement et l'ergonomie servirait l'efficacité et la satisfaction. De plus, l'automatisation de certains éléments (classements des joueurs, accès aux niveaux supérieurs, octroi des récompenses) ferait gagner un temps considérable à l'enseignant et permettrait de faire perdurer l'ensemble du parcours d'année en année, ce qui n'est pas faisable en dehors du contexte de la présente étude.

5. Conclusion

La contribution principale de la présente étude est d'abord de poser la question des mini-jeux comme éléments possibles de l'écologie d'apprentissage générale liée à un cours. La tentative analysée ici suggère que la possibilité d'une intégration de tels mini-jeux, conçus à moindre coût en appliquant des éléments de gamification à des activités d'entraînement mérite l'attention des enseignants dès lors qu'elle suscite l'engagement des étudiants, impacte positivement la performance des étudiants volontaires et est appréciée et considérée comme efficiente par les étudiants.

À la suite de cette étude, plusieurs recommandations peuvent être adressées aux enseignants qui envisagent d'enrichir l'écologie d'apprentissage de leur cours avec des mini-jeux :

a) Il est important de concevoir des jeux dont on est convaincu qu'ils apporteront une aide à l'apprentissage en sélectionnant par exemple des concepts seuils ou des difficultés récurrentes comme thème de jeu et en appliquant des mécanismes de *gamification* qui aideront à renforcer leur maîtrise ;
b) Les activités *gamifiées* devraient rester facultatives car l'apprentissage par le jeu ne peut pas convenir à tous ;
c) L'investissement en temps nécessaire dans les jeux doit apporter un réel bénéfice pour l'apprentissage, le jeu doit être perçu comme rentable par l'étudiant ;
d) Les activités d'entraînement doivent être conçues en adéquation avec la manière d'évaluer la matière pour rendre l'utilité plus perceptible aux yeux des étudiants ;
e) L'utilisation de récompenses (MG) extrinsèques, tel que des points bonus (même très peu) peut engendrer un plus grand engagement des étudiants dans les jeux.

La gamification d'activité d'entraînement fait apparaître des bénéfices pour les étudiants à certaines conditions : insertion dans une scénarisation pédagogique, variété des jeux, centrations sur des concepts difficiles, équilibres dans le ludique/l'apprentissage, équilibre dans l'investissement/le bénéfice d'étude ou encore l'ergonomie. Il reviendra à des études ultérieures de déterminer si ces conditions favorables peuvent avoir une valeur pédagogique élargie à d'autres contextes.

6. Bibliographie

Ainin, S., Naqshbandi, M. M., Moghavvemi, S. et Jaafar, N. I. (2015). Facebook usage, socialization and academic performance. *Computers and Education, 83*, 64–73. https://doi.org/10.1016/J.COMPEDU.2014.12.018

Alhalafawy, W. S. et Zaki, M. Z. T. (2019). The effect of mobile digital content applications based on gamification in the development of psychological well-being. *International Journal of Interactive Mobile Technologies, 13*(8), 107–123. https://doi.org/10.3991/ijim.v13i08.10725

Arnab, S., Walaszczyk, L., Lewis, M. et Kernaghan-Andrews, S. (2021). Designing Mini-Games as Micro-Learning Resources for Professional Development in Multi-Cultural Organisations. *Electronic Journal of E-Learning, 19*(2), 44–58. https://doi.org/10.34190/EJEL.19.2.2141

Banfield, J. et Wilkerson, B. (2014). Increasing student intrinsic motivation and self-efficacy through gamification pedagogy. *Contemporary Issues in Education Research*, 7(4), 291–298. https://doi.org/10.19030/cier.v7i4.8843

Baricco, A. (2014). *Les barbares, essai sur la mutation*. Gallimard.

Bevins, K. L. et Howard, C. D. (2018). Game mechanics and why they are employed: What we know about gamification so far. *Issues and Trends in Educational Technology, 6*(1).

Black, A. E. et Deci, E. L. (2000). The effects of instructors' autonomy support and students' autonomous motivation on learning organic chemistry: A self-determination theory perspective.*Science Education, 84*(6), 740–756. https://doi.org/10.1002/1098-237X(200011)84:6%3C740::AID-SCE4%3E3.0.CO;2-3

Bunchball, Inc. (2010). Gamification 101: An Introduction to the Use of Game Dynamics to Influence Behavior. *White paper, 9*, 1-18.

Burguillo, J. C. (2010). Using game theory and competition-based learning to stimulate student motivation and performance. *Computers and Education*, 55(2), 566–575. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.02.018

Carr, N. (2008). Is google making us stupid? *The Atlantic*. http://www.theatlantic.com/magazine/archive/2008/07/is-google-making-us-stupid/306868/

Chang, K. E., Wu, L. J., Weng, S. E. et Sung, Y. T. (2012). Embedding game-based problem-solving phase into problem-posing system for mathematics learning. *Computers and Education*, 58(2), 775–786. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.10.002

Charsky, D. (2010). From edutainment to serious games: A change in the use of game characteristics. *Games and Culture, 5*(2), 177–198. https://doi.org/10.1177/1555412009354727

Cousin, G. (2006). An introduction to threshold concepts. *Planet, 17*, 4–5. https://doi.org/https://doi.org/10.11120/plan.2006.00170004

da Rocha Seixas, L., Gomes, A. S. et de Melo Filho, I. J. (2016). Effectiveness of gamification in the engagement of students. *Computers in Human Behavior, 58*, 48–63. https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.11.021

de Freitas, S. (2006). *Learning in immersive worlds. A review of game-based learning*. Joint Information Systems Committee.

Deterding, S., Sicart, M., Nacke, L., O'Hara, K. et Dixon, D. (2011). Gamification. using game-design elements in non-gaming contexts. *Proceedings of the 2011 Annual Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* - CHI EA '11, 2425–2428. https://doi.org/10.1145/1979742.1979575

Dignan, A. (2011). *Game frame: Using games as a strategy for success*. Free Press.

Egenfeldt-Nielsen, S. (2006). Overview of research on the educational use of video games. *Nordic Journal of Digital Literacy, 1*(3), 184–213. https://doi.org/10.18261/ISSN1891-943X-2006-03-03

Elen, J. et Lowyck, J. (1998). Students' views of the efficiency of instruction: An exploratory survey of the instructional metacognitive knowledge of university freshmen. *Higher Education, 36*, 231–252.

Entwistle, N. et Ramsden, P. (1983). Understanding student learning. Croom Helm.

Evans, C. et Robertson, W. (2020). The four phases of the digital natives debate. *Human Behavior and Emerging Technologies, 2*(3), 269–277. https://doi.org/10.1002/HBE2.196

Finkielkraut, A. et Soriano, P. (2001). *Internet, l'inquiétante extase*. Mille et une nuits.

Foster, A. (2008). Games and motivation to learn science: Personal identity, applicability,

relevance and meaningfulness. *Journal of Interactive Learning Research, 19(*4), 597–614.
Francis, R. (2006). Towards a pedagogy for game-based learning. *Proceedings of the 2006 Jisc Online Conference Innovating E-Learning 2006: Transforming Learning Experiences*.
Frazer, A., Argles, D. et Wills, G. (2007). *Is less actually more? The usefulness of educational mini-games. Dans J. M. Spector, D. G. Sampson, T. Okamoto, Kinshuk, S. A. Cerri, M. Ueno et A. Kashihara (dir.), Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2007)* (p. 533–537). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICALT.2007.173
Ganaras, K. (1998). *La conceptualisation des équilibres chimiques* [Thèse de doctorat, École normale supérieure de Cachan]. Theses.fr. http://www.theses.fr/1998DENS0040
Gordillo, A., Gallego, D., Barra, E. et Quemada, J. (2013). The city as a learning gamified platform. *Proceedings of the 2013 Frontiers in Education Conference, Oklahoma City, OK*, 372–378. https://doi.org/10.1109/FIE.2013.6684850
Hanus, M. D. et Fox, J. (2015). Assessing the effects of gamification in the classroom: A longitudinal study on intrinsic motivation, social comparison, satisfaction, effort, and academic performance. *Computers and Education*, 80, 152–161. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.08.019
Harris, S. (2014, April 25). Take your lessons up a level with Super Mario. *TES Professional*, 34–35.
Hattie, J. (2009). Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement. Routledge.
Hattie, J. et Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research, 77*(1), 81–112. https://doi.org/10.3102/003465430298487
Kang, B. et Tan, S. (2008). Impact of digital games on intrinsic and extrinsic motivation, achievement, and satisfaction. Dans K. McFerrin, R. Weber, R. Carlsen et D. Willis (dir.), *Proceedings of Society for Information Technology et Teacher Education International Conference 2008* (p. 1825–1832). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
le Maire, N., Dalcq, A.-C., Colaux-Castillo, C., Fauconnier, M.-L. et Verpoorten, D. (2017). Gamification croissante d'un quiz de chimie – Effets comparés sur la performance, la perception de compétence et l'état de flow. *Revue Internationale Des Technologies En Pédagogie Universitaire, 14*(1), 69–83. https://doi.org/10.18162/ritpu-2017-v14n1-05
le Maire, N., Verpoorten, D., Fauconnier, M.-L. et Colaux-Castillo, C. (2018). Clash of Chemists: A gamified blog to master the concept of limiting reagent stoichiometry. *Journal of Chemical Education, 95*, 410–415. https://pubs.acs.org/doi/ipdf/10.1021/acs.jchemed.7b00256
Leclercq, D. et Poumay, M. (2008). *Le modèle des événements d'apprentissage - Enseignement*. https://orbi.uliege.be/handle/2268/13968
Loertscher, J., Green, D., Lewis, J. E., Lin, S. et Minderhout, V. (2014). Identification of Threshold Concepts for Biochemistry. *CBE Life Sciences Education, 13*(3), 516–528. https://doi.org/10.1187/CBE.14-04-0066
Maina, M. et Garcia, I. (2016). Articulating personal pedagogies through learning ecologies. Dans B. Gros, Kinshuk et M. Maina (dir.), *The Future of Ubiquitous Learning : Learnings Designs for Emerging Pedagogies* (p. 73–94). Lecture Notes in Educational Technology. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-47724-3
McFarlane, A., Sparrowhawk, A. et Heald, Y. (2002). *Report on the educational use of games*. http://questgarden.com/84/74/3/091102061307/files/teem_gamesined_full.pdf
Mikropoulos, T. A. et Natsis, A. (2011). Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999–2009). *Computers and Education, 56*(3), 769–780. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.10.020
Mitchell, A. et Savill-Smith, C. (2004). *The use of computer and video games for learning: A review of the literature*. Learning and skills development agency. https://dera.ioe.ac.uk/5270/7/041529_Redacted.pdf
Muntean, C. I. (2011). Raising engagement in e-learning through gamification. Dans M. Vlada (dir.), *Proceedings of the 6th International Conference on Virtual Learning* (p. 323–329). editura universitatii din bucuresti. http://icvl.eu/2011/disc/icvl/documente/pdf/met/ICVL_ModelsAndMethodologies_paper42.pdf
Papastergiou, M. (2009). Digital Game-Based Learning in high school Computer Science education: Impact on educational effectiveness and student motivation. *Computers and Education, 52*(1), 1–12. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.06.004
Plass, J. L., Mayer, R. E. et Homer, B. D. (2020). *Handbook of game-based learning*. Mit Press.

Prensky, M. (2005). Computer games and learning: Digital game-based learning. Dans J. Raessens et J. Goldstein (dir.), *Handbook of computer game studies*. MIT Press.

Rebord, N. et Rodrigues, I. (2017). *Le métro du jeu. Genève* : AUPTIC.education. https://auptic.education/12com

Reeves, B. et Read, J. L. (2009). *Total engagement: How games and virtual worlds are changing the way people work and businesses compete*. Harvard Business Press.

Ritzhaupt, A. D., Huang, R., Sommer, M., Zhu, J., Stephen, A., Valle, N., Hampton, J. et Li, J. (2021). A meta-analysis on the influence of gamification in formal educational settings on affective and behavioral outcomes. *Educational Technology Research and Development*. https://doi.org/10.1007/s11423-021-10036-1

Romano, G. (1991). Étudier… en surface ou en profondeur ? *Pédagogie Collégiale, 5*(2), 6–11.

Ryan, R. M. et Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist, 55*(1), 68–78.

Spires, H. A., Rowe, J. P., Mott, B. W. et Lester, J. C. (2011). Problem solving and game-based learning: Effects of middle grade students' hypothesis testing strategies on science learning outcomes. *Journal of Educational Computing Research, 44*(4), 453–472. https://doi.org/10.2190/ec.44.4.e

Srinivasan, R. et Thomas, Y. (2016). Emerging shifts in learning paradigms– from millenials to the digital natives. *International Journal of Applied Engineering Research, 5*, 3616–3618.

Stein, J. (2013, May 20). Millennials: The me me me generation. *TIME*. http://time.com/247/millennials-the-me-me-me-generation/?iid=sr-link1

Sung, H.-Y. et Hwang, G.-J. (2013). A collaborative game-based learning approach to improving students' learning performance in science courses. *Computers et Education, 63*, 43–51. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.11.019

Tapscott, D. (1999). Educating the Net Generation. *Educational Leadership, 56*(5), 6–11.

Togo, K. et Fung, F. M. (2021). ChemPov – a Multi-Player Digital Boardgame from Singapore that supports more engaging learning. Dans *Media et Learning*. https://media-and-learning.eu/type/featured-articles/chempov-a-multi-player-digital-boardgame-from-singapore-that-supports-more-engaging-learning

Twenge, J. M. et Campbell, W. K. (2018). Associations between screen time and lower psychological well-being among children and adolescents: Evidence from a population-based study. *Preventive Medicine Reports, 12*, 271–283. https://doi.org/10.1016/J.PMEDR.2018.10.003

Verpoorten, D., Castaigne, J.-L., Westera, W. et Specht, M. (2012). A quest for meta-learning gains in a physics serious game. *Education and Information Technologies, 19*(2), 361–374. https://orbi.uliege.be/handle/2268/151345

Verpoorten, D., Devyver, J., Duchâteau, D., Mihaylov, B., Agnello, A., Ebrahimbabaye, P., Focant, J.-F., Charlier, E., Delfosse, A., Bertrand, F., Megherbi, S. et Detroz, P. (2017). Decoding the disciplines – A pilot study at the University of Liège (Belgium). Dans R. Andersson, K. Martensson et T. Roxa, *Proceedings of the 2nd European Conference for the Scholarship of Teaching and Learning* (p. 263-267). University of Lund, Sweden: Jubileum Series. https://orbi.uliege.be/handle/2268/211105

Verpoorten, D., Parlascino, E., André, M., Schillings, P., Devyver, J., Borsu, O., van de Poël, J.-F. et Jérôme, F. (2017). Blended learning - Pedagogical success factors and development methodology. *(Tech. Rep.) Université de Liège*, Belgium : IFRES. https://orbi.uliege.be/handle/2268/209645

Viau, R. (1994). *La motivation en contexte scolaire.* Éditions du Renouveau pédagogique.

Vincke, G., Marée, R., Wehenkel, L., Defaweux, V., Quatresooz, V., D'Haene, N., Salmon, I., Renard, P., Depiereux, E., Snoeck, C., Denis, B. et Verpoorten, D. (2014, November 16). *HistoWeb - Toward a new learning ecology for histology.* Poster presented at the Digital learning round table, Kirchberg (European Commission), Luxembourg. https://orbi.uliege.be/handle/2268/177350

Wang, L. et Chen, M. (2010). The effects of game strategy and preference□matching on flow experience and programming performance in game□based learning. *Innovations in Education and Teaching International, 47*(1), 39–52. https://doi.org/10.1080/14703290903525838

Wang, C. et Huang, L. (2021). A Systematic Review of Serious Games for Collaborative Learning: Theoretical Framework, Game Mechanic and Efficiency Assessment. *Article in International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET), 16*(6), 88–105. https://doi.org/10.3991/ijet.v16i06.18495

Warschauer, M., Matuchniak, T., Pinkard, N. et Gadsden, V. (2010). New Technology and Digital Worlds: Analyzing Evidence of Equity in Access, Use, and Outcomes. *Source: Review of Research in Education, 34*(1), 179–225. https://doi.org/10.3102/0091732X09349791

Weiler, A. (2004). Information-seeking behavior in generation Y students: Motivation, critical thinking, and learning theory. *The Journal of Academic Librarianship, 31*(1), 46–53. https://doi.org/10.1016/j.acalib.2004.09.009

Westera, W. (2015). Games are motivating, aren´t they? Disputing the arguments for digital game-based learning. *International Journal of Serious Games, 2*(2), 3–17. https://doi.org/10.17083/ijsg.v2i2.58

Westera, W., Nadolski, R. J., Hummel, H. G. K. et Wopereis, I. G. J. H. (2008). Serious games for higher education: A framework for reducing design complexity. *Journal of Computer Assisted Learning, 24*(5), 420–432. https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2008.00279.x

7. Annexes

Annexe 1

Deux types d'affirmations ont été évaluées sur une échelle de Likert à 5 points dans les enquêtes soumises à l'issue de chaque mini-jeu. Les points forts et points faibles de chaque mini-jeu ont également été questionnés à cette occasion.

Aspects étudiés	Items des enquêtes soumises à l'issue de chaque mini-jeu.
Satisfaction	1. Je pense que j'aimerais utiliser ce genre de mini-jeux plus fréquemment 2. J'ai beaucoup aimé participer à ce mini-jeu 3. Je conseillerais aux étudiants n'ayant pas participé de jouer à ce mini-jeu
Utilité perçue	4. Je pense que jouer à ce jeu m'a été utile pour améliorer ma compréhension 5. Je trouve que ce mini-jeu est complémentaire des autres supports du cours sur cette matière
Questions ouvertes	6. Pour toi, quels sont les points forts de ce mini-jeu? 7. Pour toi, quels sont les points faibles de ce mini-jeu?

Annexe 2

Des affirmations relatives à l'appréciation du parcours ludique (1 et 2) et à l'efficience de celui-ci (3 et 4) ont été évaluées sur une échelle de Likert à 5 points à la fin de l'examen de janvier du cours de chimie générale.

1. J'ai apprécié cette façon de fréquenter la matière.

□ Pas du tout d'accord □ Pas d'accord □ Moyennement d'accord □ D'accord □ Tout à fait d'accord

2. Je conseillerais aux futurs étudiants de participer aux mini-jeux ?

□ Pas du tout d'accord □ Pas d'accord □ Moyennement d'accord □ D'accord □ Tout à fait d'accord

3. Dans l'étude du cours de chimie générale, je trouve que ma participation aux mini-jeux a représenté un temps :

□ Pas du tout important □ Peu important □ Moyennement important □ Important □ Très important

4. Je trouve que la contribution de ma participation aux mini-jeux à l'étude de l'examen de chimie générale a été :

□ Pas du tout importante □ Peu importante □ Moyennement importante □ Importante □ Très importante

Annexe 3 : Positionnement du parcours « World of Chemistry » et des quatre mini-jeux qui le composent sur le métro du jeu (Rebord et Rodrigues, 2017 repris par Rebord et Mabilon dans ce numéro)

Que ce soit le parcours dans sa globalité ou chacun des quatre mini-jeux individuellement, tous sont caractérisés par un classement de joueurs visant à instaurer une certaine compétition entre les étudiants, ce qui positionne de manière générale « World of Chemistry » à la station « Jeux de prouesse ».

Une caractéristique inhérente aux mini-jeux est de présenter des règles simples. Dans « World of Chemistry », ces règles ont été établies et explicitées aux étudiants pour les quatre jeux du parcours situant ceux-ci à la station « Jeux de règles ». Au sein de ces règles, les jeux Clash of Chemists et GeoChemCaching invitent les participants à la fabrication d'analogies pour l'un et de réponses truffées d'erreurs pour l'autre. Ainsi, ces deux mini-jeux présentent une dimension qui les situent également à la station « Jeux de fabrication ». Enfin, le principe de *gamification* principalement mis à l'œuvre dans GeoChemCaching en fait un jeu que l'on peut situer à la station « Collection et Chasse ».

Malgré la difficulté de positionner précisément chaque mini-jeu sur le plan du métro du jeu, tant les éléments de gamification mobilisés dans ceux-ci sont variés, on remarque que « World of Chemistry » et les quatre jeux qui le composent empruntent principalement la Ligne Jean Château (Jeux de prouesse, Jeux de règles, Jeux de fabrication).