



L'expérience d'apprentissage comme prisme d'évaluation d'un jeu sérieux en réalité augmentée dans l'enseignement supérieur

<https://doi.org/10.52358/mm.vi24.553>

Ying-Dong Liu, chercheuse postdoctorale
Université Lumière Lyon 2 et Université de Strasbourg, France
yingdong.liu8@univ-lyon2.fr
<https://orcid.org/0000-0002-3984-5751>

Antoine Taly, directeur de recherche
Université Paris-Cite et CNRS, France
taly@ibpc.fr
<https://orcid.org/0000-0001-5109-0091>

RÉSUMÉ

L'expérience d'apprentissage renvoie aux perceptions et aux résultats issus des interactions entre l'apprenant et son environnement. Dans le contexte de l'enseignement supérieur, l'intégration de jeux sérieux introduit des modalités d'apprentissage plus interactives, engageantes et centrées sur l'expérience. Le jeu sérieux *Pangu* en réalité augmentée, conçu pour soutenir l'apprentissage de concepts biologiques à l'échelle microscopique, a déjà fait l'objet d'évaluations portant sur sa qualité de conception, sans toutefois analyser empiriquement l'expérience d'apprentissage des étudiants. L'objectif de cette recherche est d'évaluer l'expérience d'apprentissage associée à ce dispositif et d'examiner dans quelle mesure il permet l'atteinte des objectifs d'apprentissage visés. Une expérimentation a été menée auprès de 18 étudiants qui ont été invités à remplir un questionnaire de connaissances, administré avant et après l'utilisation du jeu, ainsi qu'un questionnaire d'évaluation de l'expérience d'apprentissage à la fin de l'expérimentation. Les résultats montrent une amélioration significative des performances des étudiants et soulignent l'impact positif de dimensions, telles que l'aspect ludique, la clarté des objectifs, l'utilisabilité et le développement cognitif sur l'engagement des apprenants. Ces résultats invitent à réfléchir au rôle des dispositifs ludiques numériques dans le contexte universitaire comme leviers d'apprentissage actif, tout en ouvrant une réflexion sur leurs conditions d'intégration pédagogique.

Mots-clés : expérience d'apprentissage, engagement, évaluation, jeu sérieux, enseignement supérieur



Introduction

Dans un contexte marqué par la transformation des pratiques pédagogiques et l'évolution des profils d'apprenants, l'enseignement supérieur est aujourd'hui confronté à la nécessité de repenser ses modalités d'enseignement afin d'améliorer l'expérience d'apprentissage pour qu'elle soit plus active et engageante. Bédard et Béchar (2009) proposent d'introduire l'innovation pédagogique dans les programmes d'études par trois portes complémentaires : l'épistémologie disciplinaire, l'engagement des étudiants et la culture institutionnelle. Parmi ces axes, la porte de l'engagement des étudiants occupe une place centrale, dans la mesure où elle repose sur une conception active de l'apprentissage, selon laquelle « les étudiants sont incités à construire leurs propres connaissances; ils sont des producteurs actifs et non des "récipients" passifs de la matière » (Bédard et Béchar, 2009, p. 54). Par ailleurs, comme le souligne Lavigne (2013), le public étudiant actuel, qui grandit avec les technologies numériques et a tendance à avoir beaucoup plus de besoins d'activités associées à ces dernières, exige de l'enseignant de trouver de nouveaux outils et méthodes pédagogiques adaptés à ces nouveaux modes de fonctionnement.

L'étude de Potocan *et al.* (2025) met en évidence que les étudiants privilégient des approches pédagogiques modernes et interactives plutôt que des méthodes d'enseignement plus traditionnelles, et souligne l'importance de l'utilisation des sites web, des *smartphones* et d'autres solutions numériques avancées dans les pratiques éducatives de l'enseignement supérieur. Les innovations technologiques interrogent leurs usages, leur pertinence et leurs effets, tant bénéfiques que risqués, sur l'éducation et la formation (Aillierie et Martineaud, 2023). Les auteurs soulignent également la nécessité d'analyser le numérique scolaire au regard de ses bénéfices réels et de son impact sur le geste professionnel des enseignants. Céci *et al.* (2024) proposent ainsi une typologie des prudences numériques qui s'inscrit dans une approche de sobriété numérique, visant à accompagner les pratiques pédagogiques dans l'intégration du numérique. Par ailleurs, il apparaît nécessaire de concevoir des outils spécifiques, précisément adaptés à des besoins pédagogiques fins. Cette réalité incite les enseignants à repenser leurs pratiques et à recourir à des outils pédagogiques innovants de manière prudente et systématique, afin de s'adapter à ces nouveaux modes de fonctionnement et de stimuler l'engagement chez des étudiants.

Certaines études montrent que l'utilisation des jeux sérieux dans les cours favorise l'engagement des apprenants et leur participation active aux activités pédagogiques (Almås et Giæver, 2024; Meng *et al.*, 2024; Lin *et al.*, 2024; Chen *et al.*, 2026). Dans ce contexte, le jeu sérieux en réalité augmentée *Pangu* constitue un objet d'étude pertinent. D'une part, il a été coconçu par des enseignants-chercheurs et des développeurs, spécifiquement pour des étudiants de première année universitaire en biologie, d'autre part, il vise à sensibiliser les étudiants aux différentes structures moléculaires à l'origine de la vie, en leur permettant d'interagir avec les molécules à la fois physiquement et virtuellement. À partir de l'exemple du jeu *Pangu*, Taly (2018) montre comment la frontière entre le divertissement et les objectifs pédagogiques s'estompe dans les jeux sérieux en réalité mixte. Son analyse révèle que, malgré une finalité première d'apprentissage, les étudiants détournent parfois les usages initialement prévus du jeu en explorant des formes de jeu libre et de création à partir des modèles proposés. Ce jeu a également été utilisé dans un atelier pédagogique interdisciplinaire destiné à des étudiants de première année et à des lycéens afin de susciter leur intérêt pour les sciences liées à l'origine de la vie (Taly *et al.*, 2019). L'atelier a rencontré un succès et les participants ont donné des retours positifs concernant leur intérêt pour les sujets abordés, mais les acquisitions de connaissances n'ont pas été testées. Ainsi, il manque encore une étude empirique pour évaluer l'expérience d'apprentissage des étudiants et leurs acquis après avoir joué à *Pangu*.

Par ailleurs, Charlier et Peraya (2002) soulignent l'importance de l'articulation entre les expériences d'acteurs, l'utilisation des technologies et le système/l'environnement du projet. L'innovation n'est pas toujours alignée avec les besoins relevés. Cette adéquation est également perçue différemment selon les institutions ou les individus. Les besoins sont souvent implicites, et « c'est en vivant l'expérience que



l'innovation prend sens » (Charlier, Bonamy et Saunders, 2002, p. 54). Dans cette perspective, il apparaît essentiel d'analyser et de comprendre l'expérience d'apprentissage vécue par les étudiants lors de l'usage du jeu. Cette analyse permet d'évaluer non seulement l'efficacité potentielle du dispositif, mais aussi les conditions dans lesquelles celui-ci devient réellement porteur d'apprentissages. Ainsi, notre recherche vise à déterminer dans quelle mesure le jeu sérieux *Pangu* permet aux étudiants d'acquérir de nouvelles connaissances ainsi qu'à identifier les indicateurs de l'expérience d'apprentissage susceptibles de favoriser l'engagement des étudiants. Elle propose également une réflexion sur l'usage de *Pangu* et, plus largement, sur l'usage des jeux dans l'enseignement supérieur, en interrogeant les enjeux pédagogiques associés à leur intégration dans les dispositifs de formation universitaire.

Cet article s'inscrit dans la continuité des actes du colloque ROC 2025 et est structuré en cinq parties. Nous présentons d'abord le cadrage théorique, qui clarifie les notions d'expérience d'apprentissage, d'engagement et d'immersion, ainsi que les approches d'évaluation de l'expérience d'apprentissage dans les jeux sérieux. La section méthodologique décrit ensuite le contexte de l'étude, les instruments mobilisés et la démarche de recherche adoptée. Les résultats sont analysés afin d'examiner les acquis de connaissances des étudiants ainsi que leur expérience d'apprentissage avec le jeu *Pangu*. Une discussion critique des résultats est ensuite proposée et la conclusion présente les perspectives de recherche.

Cadrage théorique

Expérience d'apprentissage

L'expérience est à la fois le processus et le résultat de l'interaction d'un apprenant avec son environnement (Dewey, 1938; Mandeville, 2009; Tricot, 2017; Liu, 2024a). L'expérience est également un processus à la fois interne et externe, englobant l'ensemble des états psychologiques vécus par un individu dans une situation donnée (McLellan, 2002). Par ailleurs, l'approche de Kolb (1984), fondée sur l'apprentissage expérientiel, place directement l'apprenant en contact avec la réalité. L'auteur propose un cycle continu articulant l'expérience concrète, l'observation réfléchie, la conceptualisation abstraite et l'expérimentation active. Blanié *et al.* (2020) montre davantage que l'apprentissage expérientiel favorise l'acquisition de connaissances et de compétences authentiques par la pratique répétée. « L'expérience ne constitue pas en soi un apprentissage, mais l'apprentissage ne peut se passer de l'expérience » (Dominicé, 2023, p. 81). Il s'agit de la prise de conscience de l'expérience vécue et des connaissances qui en découlent grâce à la réflexion. L'expérience d'apprentissage est omniprésente dans notre vie quotidienne, nous apprenons en interagissant et en réfléchissant. Comme le souligne Tricot (2017), « nous apprenons à chaque instant de notre vie éveillée. Dès que nous interagissons avec notre environnement, nous apprenons de celui-ci » (p. 8). Il existe peu de travaux systématiques portant sur l'expérience d'apprentissage. En s'appuyant sur une analyse systématique de la littérature scientifique, Liu *et al.* (2023) identifient trois dimensions de cette expérience : la perception des apprenants de l'environnement d'apprentissage, leurs attitudes et leurs comportements face à l'apprentissage, ainsi que les activités d'apprentissage. Liu (2024a) caractérise l'expérience d'apprentissage dans sa thèse, en précisant davantage que « l'expérience d'apprentissage représente l'ensemble des états psychologiques et cognitifs que l'apprenant peut éprouver durant le processus des interactions avec son environnement et le résultat qui en découle » (p. 41). Cet auteur met en avant dix principes fondamentaux de l'expérience d'apprentissage susceptibles d'en améliorer la qualité : la clarté des objectifs d'apprentissage, l'adéquation aux besoins des apprenants, la compatibilité entre les besoins des apprenants et l'environnement d'apprentissage, l'émotion, la volonté d'apprentissage, la flexibilité, l'interaction, la rétroaction, la réflexivité et les résultats obtenus.



Dans une perspective expérientielle inspirée de Dewey (1938) et de Kolb (1984), les jeux sérieux constituent des environnements favorisant une expérience d'apprentissage active où les connaissances se construisent à travers l'interaction, l'expérimentation et la réflexion sur l'action. Dans cette perspective, l'intérêt ne réside pas uniquement dans les apprentissages qui résultent de l'activité ludique, mais également dans la manière dont l'apprenant vit et construit son expérience au cours du jeu. Cette perspective soulève ainsi la question de l'évaluation de cette expérience et, plus particulièrement, de savoir quels indicateurs permettent d'évaluer l'expérience d'apprentissage dans les jeux sérieux. La section suivante présente brièvement les jeux sérieux ainsi que les travaux portant sur l'évaluation de l'expérience d'apprentissage dans les jeux.

Évaluation de l'expérience d'apprentissage dans les jeux sérieux

Le chercheur américain Abt (1970) introduit le concept de *Serious Game* (jeux sérieux en français) dans son ouvrage. Ce concept est illustré et popularisé notamment à travers *America's Army*, un jeu de tir publié en 2002 (Alvarez et Djaouti, 2010). Dans son livre *Serious Game*, Abt (1970) définit « *game* » comme une activité impliquant deux ou plusieurs décideurs indépendants qui cherche à atteindre leurs objectifs dans un contexte contraint. Il s'intéresse ainsi aux moyens d'utiliser le jeu comme levier d'amélioration de l'éducation. Les jeux sérieux se sont multipliés au cours des dernières années; ce sont des jeux développés à des fins à la fois utilitaires et ludiques (Taly, 2018). Par ailleurs, ces deux finalités sont souvent contradictoires dans les jeux sérieux, ce qui rend souvent une des deux dimensions moins optimale (Baaden *et al.*, 2018). Si les étudiants expriment généralement une préférence pour l'apprentissage par le jeu par rapport à des formes de formation plus traditionnelles, les résultats des études portant sur l'efficacité pédagogique de ces dispositifs demeurent néanmoins contrastés (Garris *et al.*, 2002). Dans ce contexte, il apparaît nécessaire de disposer de cadres d'analyse permettant d'examiner les modalités d'intégration de ces outils et d'identifier les critères susceptibles d'évaluer l'équilibre entre les objectifs ludiques et pédagogiques afin de concevoir des dispositifs à la fois convaincants et efficaces sur le plan de l'apprentissage.

L'évaluation des jeux sérieux s'inscrit principalement dans deux perspectives complémentaires : l'analyse de l'expérience vécue par les apprenants-joueurs et l'évaluation des apprentissages. Concernant la première perspective, plusieurs modèles ont été développés afin de caractériser les différentes dimensions de l'expérience de jeu. Par exemple, le modèle *GameFlow* (Sweetser et Wyeth, 2005) et le *Game Experience Questionnaire* (GEQ) (IJsselstein *et al.*, 2013) mettent notamment l'accent sur les dimensions expérientielles (la compétence, l'immersion, le *flow*, la tension, le défi, les affects négatifs et les affects positifs) susceptibles de favoriser l'engagement du joueur. Dans une perspective plus spécifiquement éducative, Heutte *et al.* (2016) transposent la notion de *flow* au contexte de l'apprentissage à travers le modèle *EduFlow*. Celui-ci permet d'appréhender l'expérience optimale d'apprentissage à partir de plusieurs dimensions, notamment l'absorption cognitive, l'altération de la perception du temps, la perte de conscience de soi et l'expérience autotélique. Au-delà de l'expérience de *flow*, d'autres travaux proposent une conception plus large et multidimensionnelle de l'expérience utilisateur. C'est notamment le cas de Phan *et al.* (2016) qui, à travers l'échelle GUESS (*Game User Experience Satisfaction Scale*), prennent en compte différentes dimensions de l'expérience de jeu, telles que l'utilisabilité, la narration, l'immersion, le plaisir, la créativité, l'esthétique et la connectivité sociale. Dans une perspective également multidimensionnelle, Caïra (2018) propose le modèle MEDIAL (moteur, épreuve, diégèse, intrigue, autrui, ludologie), qui fournit un cadre d'analyse de l'engagement ludique en considérant conjointement différentes composantes de l'expérience de jeu.

Néanmoins, ces modèles demeurent principalement centrés sur l'analyse de l'expérience de jeu des apprenants, alors que l'atteinte des objectifs pédagogiques constitue également une dimension essentielle de l'évaluation des jeux sérieux. À ce titre, Ávila-Pesántez *et al.* (2017) soulignent l'importance de vérifier



si les objectifs pédagogiques visés ont effectivement été atteints. Dans cette perspective, Liu *et al.* (2021) proposent une grille d'évaluation critériée des jeux sérieux, structurée autour de dimensions pragmatiques, hédoniques et techniques, afin d'appréhender à la fois l'expérience de jeu et l'atteinte des objectifs d'apprentissage. Bien que certains indicateurs d'évaluation puissent être généralisés à différents contextes, cette grille d'évaluation critériée est conçue pour répondre aux spécificités de ses objectifs pédagogiques. Par ailleurs, les approches mobilisées dans la littérature continuent souvent à privilégier l'utilisabilité et l'expérience du joueur. Par exemple, l'étude de Yaqoubi *et al.* (2026) s'appuie sur deux questionnaires largement reconnus : le SUS (*System Usability Scale*) (Brooke, 1996), destiné à évaluer l'utilisabilité du jeu, et le GEQ (*Game Experience Questionnaire*) (IJsselsteijn *et al.*, 2013), qui mesure l'expérience du joueur à travers les sept dimensions vues ci-dessus. Si ces instruments permettent d'évaluer différentes dimensions de l'utilisabilité et de l'expérience de jeu, ils rendent moins directement compte des apprentissages réalisés. Dès lors, l'intégration d'indicateurs relatifs à l'atteinte des objectifs d'apprentissage apparaît nécessaire pour parvenir à une évaluation plus complète des jeux sérieux.

Dans cette perspective, Liu (2024a) identifie 18 indicateurs à partir de 38 critères issus de la littérature (Liu, 2024b), qui contribuent à la satisfaction de l'expérience d'apprentissage et couvrent à la fois les dimensions d'expérience et d'apprentissage. L'auteur a mené des entretiens auprès de 15 professionnels issus de différents secteurs d'expertise liés au jeu sérieux : trois ingénieurs pédagogiques, trois concepteurs de jeux, trois concepteurs de l'expérience utilisateur, trois enseignants-chercheurs et trois experts-joueurs. Issus de ces entretiens, 18 indicateurs ont été dégagés en fonction de ceux qui avaient obtenu le plus grand nombre de votes auprès des professionnels : émotion, jouabilité, aspect esthétique, ludique, correspondance avec les besoins d'apprentissage des apprenants, correspondance avec les besoins de divertissement des apprenants, clarté de l'objectif d'apprentissage, *feedback*, réflexivité, utilisabilité, plaisir, facilité d'utilisation, compréhensibilité, défi, immersion, engagement, développement cognitif et mobilité. Ces indicateurs couvrent des aspects hédoniques, ergonomiques et pédagogiques (Liu, 2024b), permettant ainsi d'obtenir une vision globale de la qualité de l'expérience d'apprentissage.

Engagement et immersion

Parmi les différents éléments liés à l'expérience d'apprentissage dans les jeux, l'engagement et l'immersion sont souvent associés dans la littérature scientifique; les deux notions semblent importantes et favorisent l'expérience d'apprentissage (Jennett *et al.*, 2008; Hamari *et al.*, 2016; Bonenfant et Philippette, 2018; Blumenthal et Jensen, 2019; Taly *et al.*, 2021). Selon l'étude menée par Mahdi et Dewi (2025), l'expérience d'apprentissage et le niveau d'engagement exercent une influence significative sur l'attitude des apprenants à l'égard de l'enseignement de l'anglais médiatisé par les technologies. Smets et Euser (2026) analysent les expériences d'apprentissage immersives dans les musées. Leurs résultats montrent que ces expériences peuvent renforcer l'engagement et la motivation des apprenants. Toutefois, plusieurs travaux soulignent l'existence d'une confusion conceptuelle récurrente entre les notions d'immersion et d'engagement, lesquelles ne recouvrent pas nécessairement les mêmes dimensions de l'expérience de jeu (Bonenfant et Philippette, 2018). La notion d'engagement implique un sentiment subjectif, qui motive la réalisation d'une action ou d'une activité; à cet égard, l'engagement du joueur dans un jeu consiste à choisir un chemin pour atteindre une expérience souhaitée (Bonenfant et Philippette, 2018). Huizinga qualifie l'engagement d'état psychologique d'« absorption » dès 1938 (cité dans Bonenfant et Philippette, 2018), ce qui rejoint l'état du *flow* (Csikszentmihalyi, 1990) qui se caractérise par l'absorption complète dans son activité. Higgins (2006) souligne que le *flow* se concentre sur l'expérience autotélique et le plaisir. La différence entre l'engagement et le *flow* est la résistance personnelle, autrement dit la persistance à surmonter les difficultés. Selon Jennett *et al.* (2008), l'immersion est liée au *flow* et à l'absorption cognitive; elle peut ainsi être considérée comme un indicateur d'un engagement élevé. Cairns *et al.* (2014) définissent l'immersion comme le degré d'engagement ou



d'implication ressenti par une personne lorsqu'elle joue à un jeu. Brown et Cairns (2004) précisent que l'immersion constitue une expérience progressive, caractérisée par plusieurs niveaux d'engagement. Le premier niveau correspond à l'engagement, suivi d'un niveau intermédiaire d'absorption (*engrossment*), puis d'un niveau supérieur appelé immersion totale, qui représente le degré le plus élevé d'implication du joueur. En nous appuyant sur cette progression, nous distinguons dans cette étude deux dimensions complémentaires. L'engagement désigne le niveau d'implication qui motive l'apprenant à entreprendre et à poursuivre une activité (Bonenfant et Philippette, 2018), tandis que l'immersion correspond à un niveau d'implication plus profond, caractérisé par une absorption accrue dans l'expérience de jeu (Brown et Cairns, 2004; Jennett *et al.*, 2008). Nous nous intéressons également à déterminer la relation entre l'engagement et l'immersion dans cette étude.

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'expérience d'apprentissage des apprenants afin de mieux comprendre l'usage du jeu sérieux *Pangu* dans un contexte universitaire. Elle s'articule autour de deux dimensions complémentaires : d'une part, l'évaluation cognitive, qui vise à mesurer les connaissances acquises par les apprenants; d'autre part, l'évaluation de leur expérience d'apprentissage afin d'améliorer l'efficacité du jeu et de proposer des pistes pour optimiser sa qualité et son usage pédagogique. Pour ce faire, nous formulons trois hypothèses : H1) le jeu *Pangu* permet aux étudiants d'acquérir de nouvelles connaissances; H2) le jeu *Pangu* offre aux étudiants une expérience d'apprentissage engageante et immersive; et H3) l'engagement et l'immersion sont significativement liés. Il est également intéressant d'analyser les indicateurs qui influencent l'engagement et l'immersion.

Méthodologie

Contexte de l'étude

Le jeu sérieux *Pangu : A Short Story of Life* a été développé en 2018, conçu pour les étudiants de première année universitaire en biologie (Taly, 2018). Il vise à les sensibiliser aux différentes structures moléculaires et à leur permettre d'explorer leurs propriétés à l'échelle microscopique (Taly, 2018; Taly *et al.*, 2019). En effet, les chercheurs ont constaté chez les apprenants des difficultés à comprendre les interactions entre les molécules biologiques (Cooper *et al.*, 2015). L'échelle microscopique est difficile à appréhender pour les apprenants, notamment parce que les propriétés des molécules diffèrent de celles du monde macroscopique et apparaissent ainsi contre-intuitives. Sur la base de ces constats, un enseignant en biologie a dirigé ce projet de développement; il s'agit d'un jeu sérieux en réalité augmentée porté par le Centre de recherches interdisciplinaires en partenariat avec le laboratoire de biochimie théorique du CNRS (figure 1).

Figure 1

Page d'accueil du jeu sérieux Pangu



Note. Source : Collectif Blueprint (2018).



Le jeu implique l'utilisation combinée d'une application et de modèles moléculaires tangibles, comme ceux que nous trouvons dans les lycées et les universités. En s'inspirant de l'étude de Dries *et al.* (2017), les objectifs pédagogiques du jeu *Pangu* visent à développer progressivement la compréhension, la représentation, l'analyse et la prédiction des structures et des interactions moléculaires (Taly, 2018). Dans ce contexte, le cours est organisé selon le principe de la classe inversée. Dans un premier temps, les étudiants préparent le cours en amont en lisant un chapitre spécifique du manuel et en réalisant les exercices associés avant la séance en présentiel. Celle-ci, d'une durée de 90 minutes, débute par une phase de travail en groupe au cours de laquelle les étudiants échangent sur le chapitre étudié et peuvent formuler leurs questions. La seconde partie de la séance, d'une durée de 30 à 45 minutes, est consacrée à l'utilisation du jeu *Pangu*.

Lors de la séance de jeu, les étudiants suivent différents scénarios pédagogiques proposés. L'activité peut se dérouler de deux manières : soit en dessinant la molécule sur papier, soit en construisant un modèle physique à l'aide de billes et de bâtons. Une fois la molécule réalisée, l'étudiant la prend en photo afin que le jeu puisse l'analyser et vérifier si sa structure correspond au modèle attendu. Si la molécule est correctement construite et reconnue par le système, l'étudiant reçoit un retour positif et peut passer à l'étape suivante. Dans le cas contraire, le jeu fournit un message d'erreur et il peut modifier sa construction. Cette première phase vise donc à renforcer la compréhension de la structure tridimensionnelle des molécules. Après la construction, le jeu propose une phase d'exploration virtuelle des interactions entre les molécules. Les étudiants peuvent manipuler les molécules, les déplacer, les orienter et tester différentes configurations afin d'identifier les interactions possibles, par exemple les liaisons hydrogène. *Pangu* propose au total neuf molécules à construire et dix interactions moléculaires à explorer. Il combine ainsi la manipulation concrète, la reconnaissance par image et l'expérimentation virtuelle afin d'aider les étudiants à comprendre les structures moléculaires et leurs interactions.

Cette étude a été menée dans le cadre de la thèse de Liu (2024a). Il s'agit d'une étude quasi expérimentale. Tous les étudiants inscrits à ce cours, soit 18, ont participé au cours et à la séance de jeu. La réponse aux questionnaires était volontaire. Ils étaient âgés de 17 à 20 ans (l'âge moyen est de 18 ans) et se répartissaient comme suit : 83 % de femmes et 17 % d'hommes, soit 15 femmes et 3 hommes.

Instruments de mesure

L'apprentissage par le jeu n'est pas nouveau. Il peut aussi être considéré comme une approche de l'apprentissage par l'expérience, qu'elle soit conceptuelle (liée aux connaissances), perceptuelle (liée aux interactions) ou factuelle (liée à l'action concrète) (Sanchez, Ney et Labat, 2011). Dans cette étude, nous cherchons non seulement à savoir si l'utilisation du jeu *Pangu* permet aux étudiants d'acquérir de nouvelles connaissances, mais aussi à comprendre l'expérience d'apprentissage vécue dans ce jeu.

Pour ce faire, deux questionnaires ont été proposés. Nous avons construit un questionnaire à choix multiples (QCM) portant sur des connaissances spécifiques liées aux objectifs d'apprentissage du jeu *Pangu* (cf. annexe A). Ce questionnaire contient 11 questions visant à évaluer les prérequis et les acquis des étudiants avant le début de l'activité et après l'exercice avec le jeu. Les étudiants obtiennent un point pour chaque réponse correcte, tandis qu'un point est retiré pour chaque réponse incorrecte. Ce barème de notation vise à encourager les étudiants à répondre avec sérieux, en ne sélectionnant une réponse que lorsqu'ils sont sûrs de leur choix. Le questionnaire d'évaluation de l'expérience d'apprentissage est issu de la thèse de Liu (2024a), comme mentionné dans la section précédente. Les 18 indicateurs sont mesurés sous la forme de l'échelle de Likert de 5 points où 1 indique « Pas du tout d'accord » et 5 indique « Tout à fait d'accord » (cf. annexe B). Nous avons aussi testé la fiabilité du questionnaire, selon les normes statistiques généralement admises, un alpha de Cronbach supérieur à 0,7 est généralement considéré comme acceptable (Tchibozo, 2019). Le coefficient alpha de Cronbach de ce questionnaire est de 0,833, ce qui indique une bonne cohérence interne des items.



Démarche de l'étude

L'enseignant a d'abord procédé à une phase de présentation, au cours de laquelle il a introduit le jeu *Pangu*, son usage, les modalités de travail et le protocole d'expérimentation. Au début de l'exercice avec le jeu *Pangu*, les étudiants ont d'abord été invités à remplir le QCM (pré-test), puis ils ont été répartis aléatoirement en groupes de deux ou trois (six groupes de deux et deux groupes de trois). Chaque groupe pouvait utiliser soit des modèles moléculaires de type boules-bâtonnets, soit des dessins sur papier associés à la réalité augmentée, afin de visualiser le monde moléculaire. Ils ont ensuite exploré le jeu sur leur *smartphone*, en collaboration avec leurs pairs, afin de construire physiquement des molécules. Après avoir accompli les différentes tâches proposées dans le jeu, les étudiants ont été invités à remplir à nouveau le même QCM (post-test), puis à répondre à un questionnaire destiné à évaluer leur expérience d'apprentissage.

Le débriefing constitue un outil essentiel à l'issue d'une activité de jeu, en ce qu'il permet de transformer l'expérience ludique en connaissances mobilisables. Il offre notamment à l'enseignant la possibilité d'accompagner les étudiants dans la prise de conscience des savoirs mobilisés, leur décontextualisation et leur généralisation (Sanchez et Romero, 2020). Par ailleurs, l'étude de Martin *et al.* (2021) souligne l'importance du débriefing pour établir des liens entre les situations de jeu et les situations de travail, favorisant ainsi le transfert des connaissances. Dans cette recherche, nous nous intéressons plus particulièrement aux effets du jeu *Pangu* sur les apprentissages des étudiants. Afin d'éviter tout biais dans les résultats, le débriefing a été réalisé après l'administration du QCM post-test. Lors du débriefing, l'enseignant a invité les étudiants à partager leur ressenti, les stratégies utilisées et les difficultés rencontrées pendant le jeu. Il a également posé des questions spécifiques afin de faire le lien entre les notions du cours et les molécules représentées dans le jeu *Pangu* (cf. annexe C).

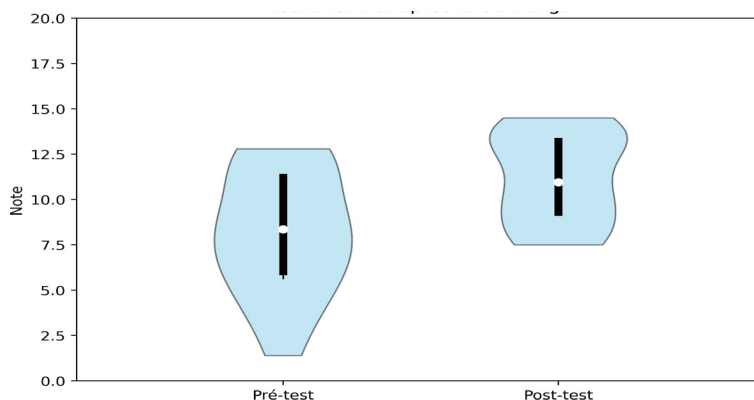
Résultats

Analyse de l'utilisation du jeu *Pangu* sur l'acquisition de nouvelles connaissances par les étudiants

C'est 100 % des étudiants (18 sur 18) qui ont répondu au pré-test et au post-test. Concernant le QCM de pré-test, la note la plus élevée est de 12,8 et la plus basse de 1,4. La moyenne obtenue est de 8,14 sur 20, avec un écart-type de 3,4. Pour le post-test, la note maximale atteint 14,5 et la note minimale, 7,5. La moyenne s'élève à 11,18, avec un écart-type de 2,5 (figure 2). La figure 2 met en évidence une amélioration des résultats d'apprentissage entre le pré-test et le post-test.

Figure 2

Comparaison des notes entre le pré-test et le post-test





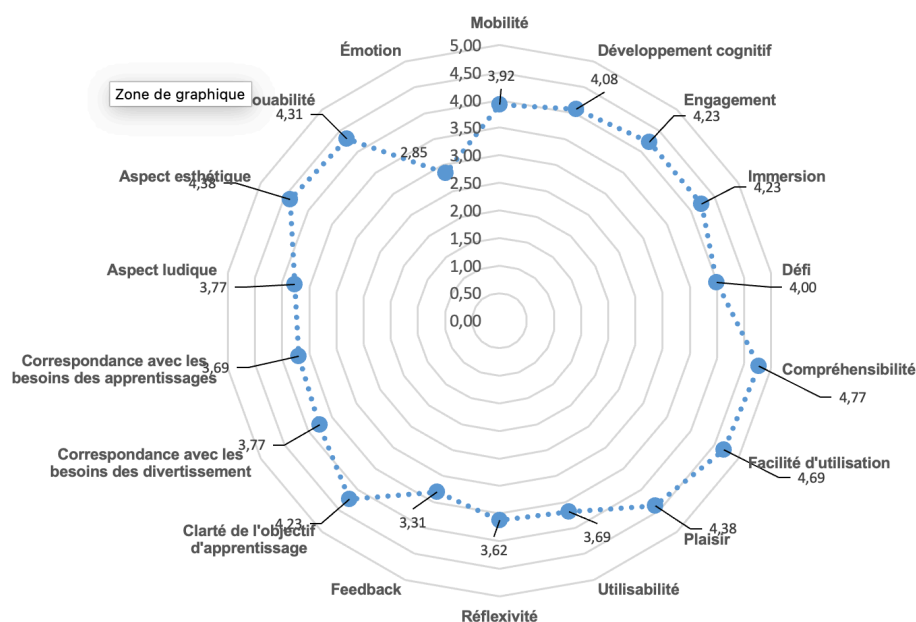
Pour vérifier la significativité de cette amélioration, nous avons tout d'abord vérifié la normalité de la distribution des scores. Les résultats indiquent que la distribution du pré-test suit une loi normale, tandis que celle du post-test ne respecte pas cette hypothèse. Compte tenu de la taille réduite de l'échantillon et de la non-normalité d'un des deux ensembles de données, nous avons retenu l'utilisation du test non paramétrique de Wilcoxon pour échantillons appariés (Hart, 2001) afin d'analyser la différence entre les scores du pré-test et du post-test. Les résultats de cette analyse révèlent une différence statistiquement significative entre les deux mesures ($p < 0,05$). Nous pouvons ainsi conclure que l'utilisation du jeu *Pangu* a contribué à l'acquisition de nouvelles connaissances chez les étudiants, notamment sur les liaisons hydrogène, les quatre bases présentes dans l'ARN, ainsi que les différentes tailles, structures et formes des molécules. Autrement dit, dans le cadre de cette étude, ce jeu a un effet positif sur l'acquisition de nouvelles connaissances (H1).

Analyse de l'expérience d'apprentissage des étudiants au jeu *Pangu*

Quant à l'expérience d'apprentissage, les étudiants apprécient globalement le jeu *Pangu*. Ils considèrent que le jeu est facile à comprendre et à utiliser. La compréhensibilité, la facilité d'utilisation, l'esthétique, le plaisir, la jouabilité, la clarté de l'objectif d'apprentissage, l'engagement et l'immersion figurent parmi les indicateurs les mieux évalués, avec des moyennes comprises entre 4,23 et 4,77 sur 5 (figure 3). Les étudiants indiquent avoir éprouvé du plaisir à jouer tout en se sentant engagés et immergés dans la réalisation des différentes missions proposées (H2). Par ailleurs, plusieurs autres indicateurs de l'expérience d'apprentissage ont également fait l'objet d'évaluations positives, notamment le développement cognitif (4,08) et le défi (4,00) proposé dans le jeu. En revanche, les indicateurs relatifs à la réflexivité (3,62), au *feedback* (3,31) et aux émotions (2,85) obtiennent des scores plus faibles. Ces résultats seront approfondis dans la section discussion.

Figure 3

Moyennes des différents indicateurs de l'expérience d'apprentissage





ENGAGEMENT ET IMMERSION DES ÉTUDIANTS DANS LE JEU PANGU

Nous avons réalisé un test de corrélation afin de vérifier le lien entre l'engagement et l'immersion (H3), ainsi que d'identifier les variables qui contribuent à l'engagement et à l'immersion des étudiants. Comme il s'agit de données non paramétriques, la corrélation de Spearman a été choisie pour cette analyse. Les résultats montrent que l'engagement a une corrélation significative avec l'aspect ludique ($\rho = 0,64$, $p < 0,05$), la clarté d'objectif ($\rho = 0,70$, $p < 0,001$), l'utilisabilité ($\rho = 0,87$, $p < 0,001$) et le développement cognitif ($\rho = 0,58$, $p < 0,05$) (cf. tableau 1). Selon les balises de Cohen (1988), la clarté d'objectif et l'utilisabilité contribuent fortement à l'engagement. Par ailleurs, le plaisir ($\rho = 0,76$, $p < 0,001$) et le développement cognitif ($\rho = 0,57$, $p < 0,05$) ont un lien positif avec l'immersion. Dans cette étude, l'immersion et l'engagement n'ont pas un lien significatif ($\rho = 0,40$, $p = 1,82$), H3 n'a pas été validée. Cependant, le plaisir a un lien fort avec l'immersion ($\rho = 0,76$, $p < 0,05$). Cette observation est cohérente avec l'idée qu'une partie des formes d'engagement ne sont pas liées à l'immersion mais à d'autres aspects, y compris à l'apprentissage (Brown et Cairns, 2004; Caïra, 2018). Ainsi, parmi les dimensions du modèle MEDIAL proposé par Caïra (2018), nous trouvons la dimension ludologique, « le discours ludologique en cours de partie traduit bien la forte implication du joueur, mais peut facilement contrecarrer les autres formes de l'engagement » (p. 9). Comme le souligne l'auteur, le discours ludologique contribue à l'engagement des joueurs, cette forme d'engagement analytique peut entrer en tension avec l'immersion, en invitant le joueur à adopter une posture réflexive vis-à-vis du jeu (Taly *et al.*, 2021). Nos résultats sont cohérents avec cette analyse dans la mesure où l'aspect ludique contribue à l'engagement, mais n'a pas un lien significatif avec l'immersion ($\rho = 0,15$, $p = 0,64$) dans le jeu *Pangu*.

Tableau 1

Corrélations entre les différentes dimensions de l'expérience, l'engagement et l'immersion

Indicateurs	Aspect ludique	Clarté de l'objectif d'apprentissage	Utilisabilité	Développement cognitif	Plaisir
Engagement	0,644*	0,698**	0,8654**	0,582*	0,329
Immersion	0,145	0,1136	0,5034	0,574*	0,757**

Note. * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ © Auteurs.

Discussion

L'étude qualitative de Taly *et al.* (2019) montre que les apprenants ont apprécié l'atelier interdisciplinaire fondé sur l'utilisation de plusieurs jeux, dont *Pangu*. Les résultats suggèrent également que les échanges entre les apprenants et les enseignants, ainsi que la mise en application des connaissances à travers les jeux, ont favorisé leur compréhension de concepts complexes. Toutefois, ces résultats reposent sur une approche déclarative et nécessitent d'être étayés par des analyses quantitatives. Dans cette perspective, les résultats de la présente étude montrent que l'utilisation du jeu *Pangu* contribue significativement à l'acquisition de nouvelles connaissances par les étudiants. L'hypothèse H1 est donc confirmée (H1). Certaines études ont montré que l'engagement a un effet positif sur l'apprentissage (Hamari *et al.*, 2016), le résultat de notre étude montre aussi qu'il existe un lien positif entre l'expérience engagée et immersive et le développement cognitif des étudiants. L'aspect ludique, la clarté d'objectif et l'utilisabilité du jeu *Pangu* contribuent positivement à cet engagement d'apprentissage. Par ailleurs, l'utilisabilité présente une corrélation positive avec le développement cognitif ($\rho = 0,62$; $p < 0,05$), ce qui indique que la facilité



d'utilisation de *Pangu* favorise davantage l'apprentissage. De même, la réflexivité est positivement liée au développement cognitif ($\rho = 0,57$; $p < 0,05$), ce qui suggère que la dimension réflexive du jeu encourage les étudiants à réfléchir sur leurs actions, leurs choix et les connaissances mobilisées. Ce résultat rejoint les travaux soulignant l'importance du débriefing dans l'apprentissage (Sanchez et Romero, 2020; Martin *et al.*, 2021), celui-ci constituant un moment privilégié de réflexivité sur l'expérience vécue. Il souligne également l'intérêt d'intégrer, dès la conception du jeu sérieux, des dispositifs favorisant cette démarche réflexive.

Les étudiants ont éprouvé du plaisir à jouer à *Pangu* et ce jeu leur permet également d'avoir une expérience d'apprentissage engageante et immersive. Cette hypothèse est confirmée (H2). Néanmoins, l'immersion et l'engagement n'ont pas de lien significatif dans cette étude (H3); cette hypothèse n'a pas été validée. L'étude de Taly (2018) montre que certains étudiants ont brièvement utilisé les modèles moléculaires comme jouet plutôt qu'outil d'apprentissage. Selon l'auteur, le caractère tangible du matériel brouille la frontière entre le jeu et le non-jeu, ainsi qu'entre le numérique et le non numérique, et ouvre la voie à l'amusement dans le contexte du jeu *Pangu*. L'étude de Cruz (2022) souligne que le niveau d'engagement des élèves, considéré dans ses dimensions cognitive, émotionnelle et comportementale, varie selon les modalités de jeu. L'engagement apparaît relativement faible dans une situation d'*intrinsic play* et augmente lorsque les élèves évoluent vers une situation d'*extrinsic play*. Ces résultats invitent à s'interroger sur la manière dont les différentes formes d'implication dans le jeu peuvent être rapprochées de l'engagement et de l'immersion, sans pour autant les considérer comme équivalentes. Dans notre étude, les résultats mettent en évidence des associations distinctes pour ces deux dimensions. L'immersion est fortement corrélée au plaisir, tandis que l'engagement est davantage associé à l'utilisabilité, à la clarté des objectifs d'apprentissage et aux caractéristiques ludiques du jeu. Ces résultats suggèrent que l'immersion pourrait davantage refléter une absorption dans l'expérience du jeu, alors que l'engagement serait lié à l'implication de l'apprenant dans la réalisation de l'activité et la poursuite de ses objectifs (Bonenfant et Philippette, 2018). Les observations de Martin *et al.* (2021) suggèrent d'ailleurs qu'il est important de distinguer l'engagement ludique de l'engagement pédagogique. Il est en effet possible que l'apprenant-joueur ne soit pas immergé dans le jeu, mais qu'il soit engagé dans les activités ludopédagogiques via la partie pédagogique. Malgré cette distinction, l'engagement et l'immersion contribuent tous deux au développement cognitif des apprenants.

Les résultats relatifs à l'expérience d'apprentissage montrent que les étudiants comprennent facilement le fonctionnement du jeu et les règles à suivre, et qu'ils peuvent l'utiliser sans difficulté. Ils jugent également les interfaces et la présentation du jeu agréables, et les objectifs d'apprentissage leur apparaissent clairement définis. Ces différents éléments semblent favoriser leur engagement dans le jeu, ce qui concorde avec les résultats mettant en évidence une association entre l'engagement, l'utilisabilité, la clarté des objectifs d'apprentissage et les caractéristiques ludiques du jeu (*cf.* tableau 1). Cependant, il apparaît nécessaire d'offrir un retour plus interactif et formatif, permettant aux étudiants de mieux comprendre leur progression et de renforcer l'autorégulation de leur apprentissage. Les résultats suggèrent de mieux articuler la structure, les règles et la narration du jeu afin d'améliorer l'expérience d'apprentissage. Les étudiants déclarent d'ailleurs que le jeu stimule peu leurs émotions, comme le montre le faible score obtenu par cet indicateur (figure 3). Cela suggère que *Pangu* reste avant tout une activité cognitive, avec une implication affective limitée. Une narration plus immersive ou des défis plus dynamiques pourraient renforcer cette dimension émotionnelle. Les résultats du questionnaire d'évaluation de l'expérience d'apprentissage suggèrent que le jeu, à lui seul, ne permet pas suffisamment aux étudiants de prendre du recul sur leurs actions ou leurs erreurs. Il serait pertinent d'intégrer des moments de questionnement réflexif dans le jeu pour développer cette dimension. Bien que l'intégration de nouvelles technologies dans le cours contribue à l'engagement des étudiants, l'enseignant joue un rôle essentiel de médiateur, notamment à travers le débriefing (Sanchez et Romero, 2020; Martin *et al.*, 2021), en établissant des liens entre les situations de jeu et les connaissances visées afin de faciliter le processus d'apprentissage.



Les résultats de cette recherche sont intéressants, cependant, de nombreux facteurs pourraient être susceptibles de les influencer : au début du cours, l'enseignant avait annoncé les objectifs pédagogiques et d'apprentissage avant que les étudiants ne commencent à jouer. Il est possible que la clarté d'apprentissage ait rendu les étudiants plus actifs et engagés dans le *Pangu* qui permet de développer de nouvelles connaissances. Cet engagement n'est pas directement lié au plaisir et à l'immersion, mais indirectement via le développement cognitif. Il est possible que l'immersion facilite l'apprentissage des étudiants; mais nous pouvons aussi supposer que l'engagement pédagogique ait au contraire facilité l'immersion, puisque le *briefing* a insisté sur la légitimité du jeu pour l'apprentissage. L'immersion est généralement considérée comme un atout au cours de l'activité de jeu; toutefois, comme nous l'avons montré, elle nécessite une phase de distanciation et d'institutionnalisation lors du débriefing. Il pourrait être aussi intéressant d'explorer plus avant les liens subtils entre l'engagement et l'immersion, y compris avec des stratégies qui pourraient amener le joueur à prendre du recul pendant le jeu, d'une façon comparable à l'effet de distanciation du théâtre de Brecht (Pötzsch, 2017; Levin, 2020, cité dans Taly *et al.*, 2021). L'aspect pédagogique/d'apprentissage est souvent opposé au plaisir et à l'aspect ludique, et les concepteurs des jeux sérieux recherchent toujours un équilibre entre les deux, afin que les apprenants-joueurs ne se sentent pas trop ennuyés ou n'apprennent rien de ces jeux. Avec les résultats de l'évaluation de l'expérience d'apprentissage du jeu *Pangu*, les besoins d'apprentissage et les besoins de divertissement sont liés positivement ($\rho = 0,62$, $p < 0,05$), nous supposons que les aspects ludiques et pédagogiques sont en harmonie dans ce jeu et que la dimension pédagogique est bien fusionnée avec la dimension ludique. En outre, dans cette étude, l'enseignant a joué un rôle essentiel dans la conception et la médiation pédagogiques, même si *Pangu* permet, dans une certaine mesure, d'optimiser l'expérience d'apprentissage et les performances des étudiants. Le premier acte de médiation de l'enseignant réside dans le choix de la situation d'apprentissage proposée. Ce choix relève à la fois de l'épistémologie de la discipline (biologie) et de son épistémologie de l'apprentissage (Vergnaud, 2007). Par ailleurs, les étudiants ont été répartis en groupes pour jouer à *Pangu*, l'aspect collectif est donc présent dans cette étude. Nous pouvons sans doute le rapprocher des stratégies de *peer instruction* dans lesquelles les étudiants sont encouragés à discuter autour de questions (Schel et Mazur, 2015). Il est difficile d'exclure que les interactions entre étudiants influencent les résultats d'apprentissage. D'ailleurs, cette interaction sociale vise également à favoriser l'engagement (Caira, 2018). Heutte *et al.* (2016) indiquent aussi que le *flow* et le plaisir, qui contribuent à l'effort collectif et renforcent le sentiment d'auto-efficacité collective, permettent une expérience d'apprentissage optimale.

Enfin, cette étude présente certaines limites, principalement liées à la taille restreinte de l'échantillon, qui limite la généralisation des résultats. Il apparaît donc nécessaire de confirmer ces observations préliminaires par des études empiriques ultérieures reposant sur des échantillons plus importants. Il existe différentes formes d'engagement dans les jeux, comme les trois niveaux d'immersion proposés par Brown et Cairns (2004) : l'engagement, l'*engrossment* (ou engagement émotionnel) et l'immersion totale. Ces niveaux correspondent aux indicateurs d'engagement, d'émotion et d'immersion utilisés dans notre questionnaire. Dans cette perspective, il serait intéressant de réaliser une analyse factorielle sur un large échantillon afin d'examiner plus finement la structure des critères étudiés, notamment les différentes dimensions de l'engagement et de l'immersion.

Conclusion

Cette étude est un travail empirique d'analyse des effets mesurables de l'expérience d'apprentissage. Nous avons analysé davantage l'expérience engageante des étudiants et leurs acquis. Les résultats montrent que l'utilisation du jeu sérieux *Pangu* permet aux étudiants d'améliorer leur apprentissage du cours. Cette recherche peut apporter deux contributions. La première consiste en l'exposition d'un processus du cours innovant en intégrant le jeu *Pangu*. Ce processus est détaillé (objectifs pédagogiques,



organisation du cours, protocole d'évaluation, analyse des résultats). Bien que les résultats de cette étude soient liés au contexte spécifique du *Pangu*, le processus mis en œuvre pour son intégration pédagogique pourrait être transféré à d'autres jeux sérieux et à d'autres contextes d'apprentissage. Cette transférabilité repose sur plusieurs aspects, par exemple : l'identification des objectifs d'apprentissage, la sélection d'un jeu en adéquation avec ces objectifs, son intégration aux activités pédagogiques et l'accompagnement des étudiants tout au long de l'expérience d'apprentissage. Dans cette perspective, les connaissances et la culture du jeu de l'enseignant peuvent également jouer un rôle important dans la sélection et l'intégration pertinente des jeux dans le cours. La deuxième contribution consiste à appliquer le questionnaire d'évaluation de l'expérience d'apprentissage. Les critères de ce questionnaire sont issus des avis d'experts appartenant à différents domaines liés au jeu sérieux. Bien que les indicateurs du questionnaire ne couvrent pas l'ensemble des dimensions possibles de l'évaluation du jeu et que cette étude présente certaines limites, ils permettent néanmoins d'apporter des éléments de réflexion sur d'éventuels problèmes liés au contenu et aux mécanismes du jeu, à partir de l'expérience d'apprentissage vécue par les apprenants-joueurs.

L'intégration du jeu *Pangu* articule des approches d'apprentissage numériques et non numériques, notamment à travers le jeu en réalité augmentée, qui illustre un usage raisonné et complémentaire des technologies éducatives. L'intégration d'un matériel tangible physique réintroduit un espace de liberté du jeu (*play*) au sein d'un cadre pédagogique rigide (Taly, 2018). Cela permet également aux étudiants de passer de connaissances théoriques à des objets concrets, de manipuler des molécules et de visualiser les interactions moléculaires. Cette articulation entre les dimensions ludique, technologique et pédagogique ne va toutefois pas de soi et implique de penser leur intégration de manière cohérente au regard des apprentissages visés. Cette exigence conduit notamment à s'interroger, comme le soulignent Tempier, Taly et Alvarez (2022), sur la place et le rôle des apprenants, les modalités d'apprentissage, d'évaluation et de débriefing, ainsi que la cohérence entre les objectifs d'apprentissage, les activités proposées et leur évaluation. Face à ces enjeux de conception, une voie possible consiste à privilégier une démarche frugale, fondée sur l'intégration de jeux existants, numériques ou non numériques, dans la conception pédagogique, plutôt que sur la création systématiquement d'un nouveau jeu.

Liste des références

- Abt, C. C. (1970). *Serious Game*. New York: Viking Press.
- Aillerie, C. et Martineaud, T. (2023). Enjeux politiques du « tout numérique » à l'école et pouvoir d'agir des enseignants. *Canadian Journal of Learning and Technology / Revue canadienne de l'apprentissage et de la technologie*, 49(4), 1-16. <https://doi.org/10.21432/cjlt28455>
- Almås, H. et Giæver, F. (2024). The emergence of collaboration in serious games: An exploratory study. *International Journal of Serious Games*, 11(3), 89-108. <https://doi.org/10.17083/ijsg.v11i3.739>
- Alvarez, J. et Djaouti, D. (2010). *Introduction au jeu sérieux*. Paris : Questions théoriques.
- Ávila-Pesántez, D., Rivera, L. A. et Alban, M. S. (2017). Approaches for Serious Game Design: A Systematic Literature Review. *Computers in education journal*, 8(3), 1-10.
- Baaden M, Delalande O, Ferey N, Pasquali S, Waldispühl J, Taly A (2018) Ten simple rules to create a serious game, illustrated with examples from structural biology. *PLoS Comput Biol*, 14(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1005955>
- Bédard, D. et Béchard, J.-P. (2009). *Innover dans l'enseignement supérieur*. Paris : Presses universitaires de France. <https://doi.org/10.3917/puf.bedar.2009.01>
- Blanié, A., Amorim, M.-A., et Benhamou, D. (2020). Comparative value of a simulation by gaming and a traditional teaching method to improve clinical reasoning skills necessary to detect patient deterioration: A randomized study in nursing students. *BMC Medical Education*, 20(1), 53. <https://doi.org/10.1186/s12909-020-1939-6>



- Blumenthal, V., et Jensen, Ø. (2019). Consumer immersion in the experiencescape of managed visitor attractions: The nature of the immersion process and the role of involvement. *Tourism Management Perspectives*, 30, 159-170. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2019.02.008>
- Bonenfant, M. et Philippette, T. (2018). Rhétorique de l'engagement ludique dans des dispositifs de ludification. *Sciences du jeu*, 10, 1-16. <https://doi.org/10.4000/sdj.1422>
- Brooke, J. (1996). SUS: A quick and dirty usability scale. Dans P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, et A. L. McClelland (dir.), *Usability evaluation in industry*. Taylor & Francis.
- Brown, E., et Cairns, P. (2004). A grounded investigation of game immersion. Dans *CHI '04 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. Association for Computing Machinery.
- Caïra, O. (2018). Les dimensions multiples de l'engagement ludique. *Sciences du jeu*. 10. 1-13. <https://doi.org/10.4000/sdj.1149>
- Cairns, P., Cox, A. and Nordin, A.I. (2014). Immersion in Digital Games: Review of Gaming Experience Research. Dans M. C. Angelides et H. Agius (dir.), *Handbook of Digital Games*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118796443.ch12>
- Céci, J.-F., Heiser, L. et Raynault, A. (2024). Vers une typologie des prudences numériques en éducation : une réponse aux pratiques sociales de réf. actuelles? *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire / International Journal of Technologies in Higher Education*, 21(2), 1-20. <https://doi.org/10.18162/ritpu-2024-v21n2-10>
- Charlier, B. et Peraya, D. (dir.) (2002). *Technologie et innovation en pédagogie : dispositifs innovants de formation pour l'enseignement supérieur*. Bruxelles : De Boeck Supérieur.
- Charlier, B., Bonamy, J. et Saunders, M. (2002). Chapitre 2. Apprivoiser l'innovation. Dans : D. Peraya (dir.), *Technologie et innovation en pédagogie : dispositifs innovants de formation pour l'enseignement supérieur* (p. 43-64). Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur.
- Chen, X., Yang, Y., Wang, Y., Shen, L., Wang, Z., Chu, S., Zhuang, J. (2026). Effects of a serious game on undergraduate nursing students' learning motivation, engagement and outcomes in community nursing home visit education: A cluster quasi-experimental study. *Nurse Education in Practice*, 93, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.nepr.2026.104785>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioural sciences*. (2nd ed.) Lawrence Erlbaum Associates.
- Collectif Blueprint. (2018). *Pangu – A short story of life* (Pangu 1.2.2) [application mobile]. <https://collectifblueprint.itch.io/pangu>
- Cooper, M. M., Williams, L. C., et Underwood, S. M. (2015). Student understanding of intermolecular forces: A multimodal study. *Journal of Chemical Education*, 92(8), 1288-1298. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00169>
- Cruz, P. J. A. (2022). Understanding students' engagement with a Serious Game to learn English: A sociocultural perspective. *International Journal of Serious Games*, 9(4), 137-152. <https://doi.org/10.17083/ijsg.v9i4.554>
- Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. New York: Harper and Row.
- Dewey, J. (1938). *Experience and education*. Kappa Delta Pi.
- Dominicé, P. (2023). Expérience et apprentissage : faire de nécessité vertu. *Éducation Permanente*, 236(3), 81-89. <https://doi.org/10.3917/edpe.236.0081>
- Dries, D. R., Dean, D. M., Listenberger, L. L., Novak, W. R., Franzen, M. A., et Craig, P. A. (2017). An expanded framework for biomolecular visualization in the classroom: Learning goals and competencies. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 45(1), 69-75. <https://doi.org/10.1002/bmb.20991>
- Garris, R., Ahlers, R., et Driskell, J. E. (2002). Games, motivation, and learning: A research and practice model. *Simulation & Gaming*, 33(4), 441-467. <https://doi.org/10.1177/1046878102238607>
- Hamari, J., Shernoff, D.J., Rowe, E., Coller, B., Asbell-Clarke, J., Edwards, T. (2016). Challenging games help students learn: An empirical study on engagement, flow and immersion in game-based learning. *Computers in Human Behavior*. 54, 170-179. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.07.045>
- Hart A. (2001). Mann-Whitney test is not just a test of medians: differences in spread can be important. *British Medical Journal*, 323(7309), 391-393. <https://doi.org/10.1136/bmj.323.7309.391>
- Heutte, J., Fenouillet, F., Kaplan, J., Martin-Krumm, C., et Bachelet, R. (2016). The EduFlow model: A contribution toward the study of optimal learning environments. Dans L. Harmat, F. Ørsted Andersen, F. Ullén, J. Wright, G. Sadlo, G. Flow experience (p. 127-143). Springer.



- Higgins, E. T., (2006). Value from hedonic experience and engagement. *Psychological Review*, 113, 439-460.
- IJsselstein, W. A., de Kort, Y. A. W., et Poels, K. (2013). *The Game Experience Questionnaire*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven.
- Jennett, C., Cox, A. L., Cairns, P., Dhoparee, S., Epps, A., Tijs, T., et Walton, A. (2008). Measuring and defining the experience of immersion in games. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(9), 641-661.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice Hall.
- Lavigne, M. (2013). Pertinence et efficacité des serious games. Enquête de réception sur neuf serious games. *Revue des Interactions Humaines Médiatisées (RIHM)*, Europia. <https://hal.science/hal-02095391v1>
- Lin, H.-C. K., Lu, L.-W., et Lu, R.-S. (2024). Integrating Digital Technologies and Alternate Reality Games for Sustainable Education: Enhancing Cultural Heritage Awareness and Learning Engagement. *Sustainability*, 16(21), 9451. <https://doi.org/10.3390/su16219451>
- Liu, Y.-D. (2024a). *Évaluer l'expérience d'apprentissage dans les Serious Games éducatifs sur appareil mobile : vers un design écologique* [thèse de doctorat, Université de Strasbourg, France].
- Liu, Y.-D. (2024b). *Indicateurs pour évaluer l'expérience d'apprentissage des Serious Games sur appareil mobile*. Rencontres des Jeunes Chercheurs et Chercheuses en EIAH 2024, Laval, France. <https://hal.science/hal-04669954v1>
- Liu, Y.-D., Gossa, J. et Schmoll, L. (2021). Permettre l'évaluation par les pairs de projets tuteurés en informatique : une grille critériée adaptée aux jeux sérieux. *Apprendre la Pensée Informatique de la Maternelle à l'Université, dans le cadre de la conférence Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH)*. 76-86. Fribourg, Suisse. <https://hal.science/hal-03241693v1>
- Liu, Y.-D., Morard, S., Adinda, D., Sanchez, E. et Trestini, M. (2023). A Systematic Review: criteria and dimensions of learning experience. *The 22nd European Conference on e-Learning (ECEL 2023)*. Pretoria, South Africa. <https://hal.science/hal-04264325v1>
- Mahdi, M. A., et Dewi, D. S. (2025). Students' Experiences, Engagement, and Attitudes in the English Education Revolution: The Role of Interactive Technology. *International Journal of Educational Qualitative Quantitative Research*. 4(1), 1-14. <https://doi.org/10.58418/iejegqr.v4i1.134>
- Mandeville, L. (2009). Chapitre 7. Une expérience d'apprentissage significatif pour l'étudiant. Dans Bédard, D. et Béchard, J.-P. (dir.), *Innover dans l'enseignement supérieur* (pp.123-138). Paris : Presses Universitaires de France.
- Martin, L., Alvarez, J., et Taly, A. (2021). Serious games for vocational training: From emotional labor to knowledge transfer. Dans M.-E.B. Chaumon (dir.), *Digital Transformations in the Challenge of Activity and Work: Understanding and Supporting Technological Changes*, vol. 3 (p. 57-70). Wiley.
- McLellan, H. (2002). Staging Experiences: A Proposed Framework for Designing Learning Experiences. *Educational Technology*, 42(6), 30-37.
- Meng, C., Zhao, M., Pan, Z. *et al.* (2024). Investigating the impact of gamification components on online learners' engagement. *Smart Learn. Environ.* 11, 47. <https://doi.org/10.1186/s40561-024-00336-3>
- Phan, M. H., Keebler, J. R., et Chaparro, B. S. (2016). The Development and Validation of the Game User Experience Satisfaction Scale (GUESS). *Human factors*, 58(8), 1217-1247. <https://doi.org/10.1177/0018720816669646>
- Potocan, V., Nedelko, Z., et Rosi, M. (2025). Digitalization of Higher Education: Students' Perspectives. *Education Sciences*, 15(7), 847. <https://doi.org/10.3390/educsci15070847>
- Pötzsch, H. (2017). Playing games with Shklovsky, Brecht, and Boal: Ostranenie, V-effect, and spect-actors as analytical tools for game studies. *Game Studies*, 17(2). <https://gamestudies.org/1702/articles/potzsch>
- Sanchez, E. et Romero, M. (2020). *Apprendre en jouant*. Mythes et réalité. Édition Retz.
- 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), 48-57. <https://doi.org/10.7202/1005783ar>
- Schell, J. et Mazur, E. (2015). Flipping the Chemistry Classroom with Peer Instruction. Dans J. García-Martínez et E. Serrano-Torregrosa (dir.), *Chemistry education: Best practices, opportunities and trends*. Wiley-VCH. <https://doi.org/10.1002/9783527679300.ch13>
- Smets, W., Euser, V. (2026). Systematic Instructional Design Using Immersive Learning Experiences in Museums: A Multiple Case Analysis. *Technology, Knowledge and Learning*. <https://doi.org/10.1007/s10758-025-09945-4>



- Sweetser, P., et Wyeth, P. (2005). GameFlow: A Model for Evaluating Player Enjoyment in Games. *ACM Computers in Entertainment*. 3(3), 1-24.
- Taly, A. (2018). Is the Boundary of Fun Redefined in a Mixed-Reality Serious Game? *8th International Toy Research Association World Conference, International Toy Research Association (ITRA)*, Paris, France. <https://insei.hal.science/ITRA2018/hal-02081028v1>
- Taly, A., Francesco, N., Marc, B., and S. Pasquali. (2019). Molecular modelling as the spark for active learning approaches for interdisciplinary biology teaching. *Interface focus*, 9(3), 1-11. <https://doi.org/10.1098/rsfs.2018.0065>
- Taly, A., Nugue, A. et Freudenthal, M. (2021). Modèle exploratoire de la dissonance et de l'harmonie ludo-narrative dans les jeux d'évasion. *Sciences du jeu*, 16 (2021), 1-18. <https://doi.org/10.4000/sdj.3718>
- Tchibozo, G. (2019). *Introduction pratique aux méthodes quantitatives en Sciences de l'éducation et de la formation*. Atramenta.
- Tempier, C., Taly, A., et Alvarez, J. (2022, novembre). *Faciliter les pratiques des équipes pédagogiques et de game design grâce à un modèle CEPaJe « augmenté »* [Communication à un colloque]. AUPTIC 2022 – Education, Haute École Albert Jacquard et Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgique. <https://hal.science/hal-04743546v1>
- Tricot, A. (2017). *L'innovation pédagogique*. Paris : Retz.
- Vergnaud, G. (2007). Héritages. Dans M. Merri (dir.), *Activité humaine et conceptualisation*. Toulouse : Presses universitaires du Midi.
- Yaqoubi, R. M., Rezaei-Zadeh, M., Vahidi-Asl, M., Ramezani, D., Mohammadi, S., et Rafiei Oskouei, E. (2026). Developing a serious game for enhancing student problem-solving: A three-layers effectiveness model. *Entertainment Computing*, 56 (101072). <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2025.101072>



Annexes

Annexe A

Questionnaire à choix multiples du jeu *Pangu*

Pour répondre aux questions suivantes, +1 point pour une réponse correcte, -1 point pour une réponse incorrecte. Aucun point ne sera déduit pour une non-réponse.

1. La glace a une structure extrêmement organisée, combien de liaisons d'hydrogène doit avoir chaque molécule d'eau avec ses voisines?

- A. 2 B. 3 C. 4 D. 5 E. 6

2. Qui permet au trombone de tenir en équilibre sur la surface de l'eau?

- A. Liaisons covalentes B. molécules polaires C. molécule d'eau D. propriétés émergentes E. liaisons hydrogène

3. Avec de bonnes conditions de pression et de température, la vie va apparaître.

(1) Dans l'expérience d'Urey et de Miller, quelles sont les molécules présentes dans les conditions initiales :

- A. De l'eau (+) B. De l'ammoniac (+) C. De l'urée D. Du di-hydrogène (+) E. Du méthane (+)
F. De la glycine

(2) Quelles sont les liaisons qui se sont créées dans l'expérience d'Urey et de Miller?

- A. liaisons covalentes (+) B. liaisons hydrogènes C. interaction de Van-der-Waals

(3) Quelle est la composition finale de cette expérience?

- A. De l'eau (+) B. De l'ammoniac (+) C. De l'urée D. Du di-hydrogène (+) E. Du méthane (+) F. De la glycine (+)

4. Comment sont représentées les liaisons d'hydrogène dans la partie numérique?

- A. Par un trait plein B. Par un trait hachuré [X] C. Par une boule D. Elles ne sont pas représentées

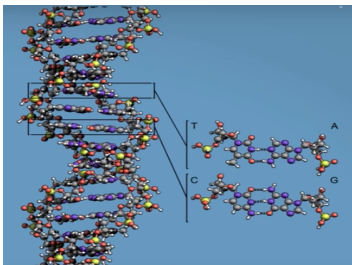
5. Quelle molécule est présente sous forme de gaz dans les conditions standard?

- A. Méthane B. Ammoniac C. Azote D. Éthanol E. Uracil

6. Quelles sont les quatre bases qui sont présentes dans l'ARN? _____

- A. Adénine B. Thymine C. Guanine D. Cytosine E. Uracile

7. Les bases d'ADN interagissent les unes avec les autres, il existe une complémentarité, mais qui forme ensemble trois liaisons hydrogène?





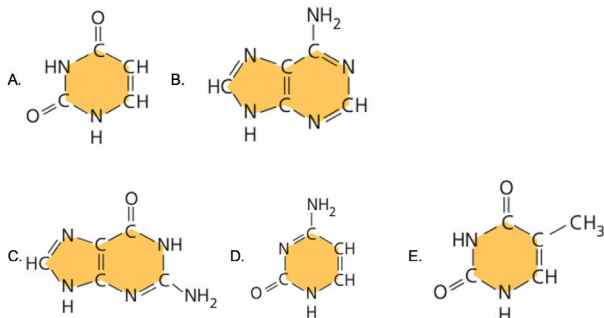
A. T

B. A

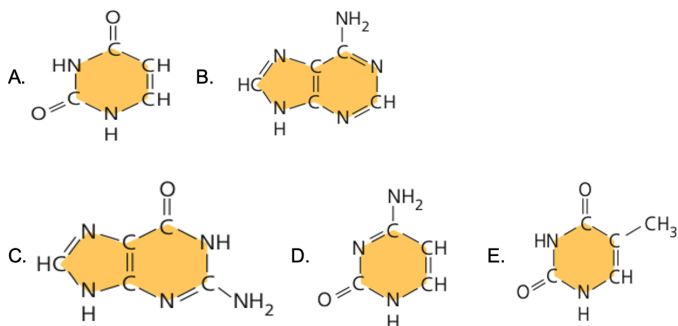
C. C

D. G

8. Quelle structure représente l'Uracile?



9. Quelle structure représente la Guanine?



10. Quelle liste suivante classe ces molécules dans l'ordre correct selon leur taille de la plus petite à la plus grande?

- A. Eau, saccharose, glucose, protéines B. Protéine, eau, glucose, saccharose
C. Eau, protéine, saccharose, glucose D. Eau, glucose, saccharose, protéine
E. Glucose, eau, saccharose, protéine

11. Je suis capable de créer des modèles moléculaires significatifs pour transmettre des caractéristiques telles que la structure secondaire et les interactions moléculaires.

Tout à fait d'accord ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Pas du tout d'accord



Annexe B

Questionnaire d'évaluation de l'expérience d'apprentissage

1. Le jeu fonctionne bien, même lorsqu'on se déplace.
2. Le jeu stimule mes émotions : la joie, le stress, la frustration, l'anxiété, etc.
3. Les structures, les règles du jeu, la narration sont bien articulées.
4. Les interfaces graphiques sont de très bonne qualité et agréables à regarder.
5. Le jeu emploie divers éléments ludiques, ce qui reflète de la ludification.
6. Les contenus d'apprentissage dans ce jeu répondent à mes besoins.
7. Le divertissement dans ce jeu répond à mes besoins.
8. Pour moi, l'objectif d'apprentissage du jeu est clair.
9. Le jeu me permet de prendre du recul après mon action dans le jeu.
10. Ce jeu me fait réfléchir sur les objectifs d'apprentissage annoncés.
11. Ce jeu me permet d'atteindre les buts définis avec efficacité, efficience et satisfaction.
12. J'ai eu plaisir à jouer à ce jeu.
13. Je me suis approprié(e) le jeu facilement.
14. Je suis arrivé(e) à comprendre et à apprendre comment jouer sans difficulté.
15. Je suis capable de résoudre moi-même des problèmes qui sont posés dans ce jeu.
16. Je me suis plongé(e) dans le jeu.
17. Je me suis senti(e) engagé(e) à accomplir les missions du jeu.
18. J'apprends de nouvelles choses dans ce jeu.



Annexe C

Questions spécifiques posées pendant le débriefing

1. Quelles sont les forces moléculaires représentées dans le jeu?

Liaisons covalentes
Liaisons hydrogène
Liaisons ioniques
Liaisons de Van-der-Waals

2. Comment les liaisons covalentes sont-elles représentées dans la partie tangible?

Par un bâton
Par une boule
Elles ne sont pas représentées

3. Comment les liaisons hydrogène sont-elles représentées dans la partie tangible?

Par un bâton
Par une boule
Elles ne sont pas représentées

4. Comment les liaisons ioniques sont-elles représentées dans la partie tangible?

Par un bâton
Par une boule
Elles ne sont pas représentées

5. Comment les liaisons de Van-der-Waals sont-elles représentées dans la partie tangible?

Par un bâton
Par une boule
Elles ne sont pas représentées

6. Comment les liaisons covalentes sont-elles représentées dans la partie numérique?

Par un trait plein
Par un trait hachuré
Par une boule
Elles ne sont pas représentées

7. Comment les liaisons hydrogène sont-elles représentées dans la partie numérique?

Par un trait plein
Par un trait hachuré
Par une boule
Elles ne sont pas représentées



8. Comment les liaisons ioniques sont-elles représentées dans la partie numérique?

- Par un trait plein
- Par un trait hachuré
- Par une boule
- Elles ne sont pas représentées

9. Comment les liaisons de Van-der-Waals sont-elles représentées dans la partie numérique?

- Par un trait plein
- Par un trait hachuré
- Par une boule
- Elles ne sont pas représentées

10. Quelles sont les forces moléculaires responsables de la complémentarité entre bases?

- Liaisons covalentes
- Liaisons hydrogène
- Liaisons ioniques
- Liaisons de Van-der-Waals



Abstract / Resumen / Resumo

The Learning Experience as a Prism for Evaluating a Serious Game with Augmented Reality in Higher Education

ABSTRACT

The learning experience refers to the perceptions and outcomes resulting from interactions between learners and their environment. In the context of higher education, the integration of serious games introduces more interactive, engaging, and experience-centered learning modalities. The augmented reality serious game Pangu, designed to support the learning of biological concepts at the microscopic level, has already been evaluated for its design quality, but without empirically analyzing the students' learning experience. The objective of this study is to evaluate the learning experience associated with this tool and to examine the extent to which it reaches the intended learning objectives. An experiment was carried out with 18 students who completed a knowledge questionnaire before and after using the game as well as a questionnaire evaluating the learning experience at the end of the experiment. The results show a significant improvement in student performance and highlight the positive impact of factors such as playfulness, objective clarity, usability, and cognitive development associated with learner engagement. These findings invite further reflection on the role of digital game-based tools in a university context as levers for active learning, while also raising questions concerning the conditions necessary for their integration into teaching.

Keywords: learning experience, engagement, evaluation, serious game, higher education

La experiencia de aprendizaje como prisma de evaluación de un juego serio en realidad aumentada en la enseñanza superior

RESUMEN

La experiencia de aprendizaje se refiere a las percepciones y los resultados derivados de las interacciones entre el alumno y su entorno. En el contexto de la educación superior, la integración de juegos serios introduce modalidades de aprendizaje más interactivas, atractivas y centradas en la experiencia. El juego serio Pangu en realidad aumentada, diseñado para apoyar el aprendizaje de conceptos biológicos a escala microscópica, ya ha sido objeto de evaluaciones sobre la calidad de su diseño, sin analizar empíricamente la experiencia de aprendizaje de los estudiantes. El objetivo de esta investigación es evaluar la experiencia de aprendizaje asociada a este dispositivo y examinar en qué medida permite alcanzar los objetivos de aprendizaje previstos. Se llevó a cabo un experimento con 18 estudiantes a los que se les pidió que rellenaran un cuestionario de conocimientos, administrado antes y después del uso del juego, así como un cuestionario de evaluación de la experiencia de aprendizaje al final del experimento. Los resultados muestran una mejora significativa en el rendimiento de los estudiantes y destacan el impacto positivo de aspectos como el carácter lúdico, la claridad de los objetivos, la facilidad de uso y el desarrollo cognitivo en el compromiso de los alumnos. Estos resultados invitan a reflexionar sobre el papel de los dispositivos lúdicos digitales en el contexto universitario como palancas del aprendizaje activo, al tiempo que abren una reflexión sobre sus condiciones de integración pedagógica.

Palabras clave: experiencia de aprendizaje, compromiso, evaluación, juego serio, educación superior



A experiência de aprendizagem como prisma de avaliação de um jogo sério em realidade aumentada no ensino superior

RESUMO

A experiência de aprendizagem refere-se às percepções e resultados decorrentes das interações entre o aluno e o seu ambiente. No contexto do ensino superior, a integração de jogos sérios introduz modalidades de aprendizagem mais interativas, envolventes e centradas na experiência. O jogo sério Pangu em realidade aumentada, concebido para apoiar a aprendizagem de conceitos biológicos em escala microscópica, já foi objeto de avaliações sobre a sua qualidade de concepção, sem, no entanto, analisar empiricamente a experiência de aprendizagem dos estudantes. O objetivo desta investigação é avaliar a experiência de aprendizagem associada a esse dispositivo e examinar em que medida ele permite atingir os objetivos de aprendizagem pretendidos. Foi realizada uma experiência com 18 alunos, que foram convidados a preencher um questionário de conhecimentos, administrado antes e depois da utilização do jogo, bem como um questionário de avaliação da experiência de aprendizagem no final da experimentação. Os resultados mostram uma melhoria significativa no desempenho dos estudantes e destacam o impacto positivo de dimensões como o aspecto lúdico, a clareza dos objetivos, a usabilidade e o desenvolvimento cognitivo no envolvimento dos alunos. Esses resultados convidam a refletir sobre o papel dos dispositivos lúdicos digitais no contexto universitário como alavancas de aprendizagem ativa, ao mesmo tempo em que abrem uma reflexão sobre as suas condições de integração pedagógica.

Palavras-chave: experiência de aprendizagem, envolvimento, avaliação, jogo sério, ensino superior