



HAL
open science

Les effets d'une ludification adaptative sur l'engagement des apprenants

Baptiste Monerrat, Elise Lavoué, Sébastien George, Michel Desmarais

► To cite this version:

Baptiste Monerrat, Elise Lavoué, Sébastien George, Michel Desmarais. Les effets d'une ludification adaptative sur l'engagement des apprenants. STICEF (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation), 2017, 24 (1), pp.51-74. 10.23709/sticef.24.1.2 . hal-01643166

HAL Id: hal-01643166

<https://hal.science/hal-01643166>

Submitted on 21 Nov 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Les effets d'une ludification adaptative sur l'engagement des apprenants

► **Baptiste MONTERRAT** (LIRIS, INSA de Lyon),
Élise LAVOUÉ (LIRIS, Université Jean Moulin Lyon3),
Sébastien GEORGE (LIUM, Université du Maine),
Michel DESMARAIS (École polytechnique de Montréal).

■ **RÉSUMÉ** • La ludification est une approche de plus en plus utilisée pour répondre au manque de motivation des apprenants. Cependant, chacun a des sensibilités différentes aux mécaniques de jeu, et cela n'est généralement pas pris en compte. Cet article présente un modèle pour adapter les fonctionnalités ludiques selon les profils de joueur des apprenants. Une évaluation de ce modèle a montré que l'utilisation de fonctionnalités ludiques adaptées rend les apprenants plus engagés, tandis que l'utilisation de fonctionnalités ludiques contre-adaptées diminue leur motivation.

■ **MOTS-CLÉS** • Ludification, adaptation, motivation, profils de joueurs.

■ **ABSTRACT** • *Gamification is increasingly used to address the lack of learner motivation. However, gamification systems generally do not consider learner's preferences for game mechanics. This paper presents a model to adapt the gamification features to the learners according to their player profile. An evaluation of this model shows that adapted game features increase learner engagement, while counter-adapted game features decrease their motivation.*

■ **KEYWORDS** • *Gamification, adaptation, motivation, player profile.*

1. Introduction

Les environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH) deviennent de plus en plus efficaces, en particulier grâce au développement des tuteurs intelligents qui prennent en compte l'état des connaissances de l'apprenant (Alevén *et al.*, 2015) (Craig *et al.*, 2013) (Desmarais et Baker, 2012). Cependant, ces technologies ne rendent pas nécessairement les EIAH plus motivants. Une solution pour y remédier est de proposer des activités d'apprentissage plus ludiques, soit en concevant des jeux sérieux, soit en ludifiant des EIAH existants. Le terme jeu sérieux (*serious game*) se rapporte à l'utilisation d'un jeu pour l'apprentissage (Prensky, 2001) tandis que la ludification s'appuie sur l'utilisation d'éléments de jeu dans un contexte non ludique (Deterding *et al.*, 2011).

Dans cet article nous nous intéressons au problème du manque de motivation dans le contexte d'un environnement d'apprentissage en ligne dans lequel l'apprenant est entièrement guidé par le système. Dans ce type d'environnement, l'absence d'un tuteur humain est souvent facteur d'un manque d'intérêt pour l'apprenant.

1.1. Ludification et apprentissage

Notre proposition porte sur l'intégration et l'adaptation de mécaniques de jeu à des environnements d'apprentissage existants. Pour cela, nous choisissons l'approche par ludification plutôt que le jeu sérieux : il est beaucoup moins complexe d'ajouter des fonctionnalités ludiques à un système d'apprentissage que de transformer le cœur de l'activité pour en faire un jeu.

Le terme de « *gamification* » a été introduit au début des années 2010. Cette approche est appliquée dans des domaines aussi variés que le marketing (Huotari et Hamari, 2012), la santé (Wilson et McDonagh, 2014), ou encore le crowdsourcing (Venhuizen *et al.*, 2013). Nous nous intéressons ici à son utilisation dans le domaine de l'éducation (Kapp, 2012). Le jeu a toujours fait partie de l'apprentissage, mais l'arrivée de la ludification a apporté de grands changements dans la manière dont il est étudié. Certains présentent la ludification comme une nouvelle théorie éducative (Bíró, 2014), aux côtés du behaviorisme, du cognitivisme, du constructivisme et du connectivisme. Sans aller jusqu'à parler d'une nouvelle théorie, nous pensons que la ludification peut être un levier puissant dans le domaine éducatif.

Dans cet article, nous présentons une implémentation réalisée dans un environnement dédié à la mémorisation de règles de grammaire. La mémorisation étant souvent basée sur la répétition, elle est parfois perçue comme une tâche ennuyeuse pour laquelle la motivation peut faire défaut. C'est pourquoi l'approche ludique peut être particulièrement utile dans le contexte de la mémorisation. Au-delà du risque d'abandon, un gain en motivation amène généralement l'apprenant à mettre

en place de meilleures stratégies mentales de mémorisation (Fenouillet et Tomeh, 1998).

La ludification doit cependant être utilisée avec précaution, et toujours mise en relation avec l'apprentissage (Szilas et Sutter Widmer, 2009). Dans le cas contraire, appliquer de façon systématique les principes de la ludification peut aboutir à la création d'une application vide de sens (Bonenfant et Genvo, 2014), ou générer des comportements inattendus des utilisateurs (Callan *et al.*, 2015).

1.2. Besoin d'adaptation

La ludification a déjà montré son efficacité à de nombreuses reprises comme le montre la revue de la littérature présentée dans (Hamari *et al.*, 2014), et l'on peut se demander si une forme de ludification adaptée pourrait bonifier davantage son impact (Vassileva, 2012). Dans les systèmes faisant intervenir des éléments de ludification, c'est actuellement l'approche « *one size fits all* » qui domine. Il est reconnu depuis longtemps que l'apprentissage personnalisé est plus efficace que d'enseigner de la même manière à tous (Bloom, 1984). Nous pensons qu'il en va de même avec la ludification : une manière de ludifier ne conviendra pas à tous les apprenants. L'adaptation se développe dans les EIAH depuis les années 80, en particulier avec les tuteurs intelligents basés sur des modèles d'apprenants. L'adaptation des jeux et les modèles de joueurs sont plus récents.

La question de recherche étudiée dans cet article est la suivante : comment adapter les éléments ludiques d'un environnement d'apprentissage à un apprenant selon son profil de joueur ? Nous avons conduit une première étude exploratoire qui a montré le potentiel de la ludification adaptative (Monterrat *et al.*, 2017). La méthode d'adaptation que nous proposons dans cet article est basée sur ces premiers résultats. Un état de l'art des techniques de ludification et des modèles de joueurs pour l'adaptation est présenté dans la section 2. Il sert de base à la construction d'un modèle de ludification adaptative que nous exposons dans la section 3. La section 4 présente une expérimentation destinée à étudier l'impact d'ajout de fonctionnalités adaptées et contre-adaptées à un environnement d'apprentissage en ligne utilisé en situation écologique par plusieurs centaines d'utilisateurs. La section 5 est consacrée à la discussion sur notre approche et les résultats de l'expérimentation.

2. État de l'art

Dans cette section, nous proposons d'abord une étude des éléments de ludification courants dans la littérature. Ensuite nous passons en revue les profils de joueurs identifiés dans différents travaux sur les jeux et la ludification. Enfin, nous étudions diverses techniques d'adaptation et modèles visant à lier les éléments de ludification aux profils de joueurs.

2.1. Éléments de ludification

La ludification repose habituellement sur l'intégration de mécaniques de jeu dans des environnements existant. (Vassileva, 2012) propose une revue de la littérature sur les mécaniques de jeu qui peuvent être utilisées pour développer des environnements numériques ludifiés. Il en ressort un inventaire de mécaniques : les récompenses (points, jetons, badges), les réalisations (représentation d'une récompense physique ou virtuelle), les statuts (classement ou niveau d'un joueur), l'esprit communautaire (collaboration) et les quêtes (des défis compétitifs ou contre la montre). (Kapp, 2012) a également listé différents éléments de jeu typiques comme les buts, les règles, la compétition, la coopération, le temps, les récompenses, les niveaux, les *feedbacks*, la narration, etc. Plus récemment, (Robinson et Bellotti, 2013) ont proposé une taxonomie des éléments de ludification qui peuvent être un objectif, une fonctionnalité sociale, une incitation ou encore une ressource. Plus globalement, en étudiant la littérature sur le sujet, nous pouvons observer que de nombreux concepts ne sont pas toujours dissociables, par exemple les mécaniques de jeux, les règles et les ressources.

Afin de proposer une approche pour une adaptation générique des éléments de jeu, nous nous sommes intéressés à des travaux décrivant différents niveaux d'abstraction de la ludification (Deterding *et al.*, 2011) proposent ainsi 5 niveaux d'abstraction, des plus abstraits aux plus concrets. Les méthodes de conception issues des jeux viennent en premier. Ensuite viennent les modèles de jeu tels que les boucles d'engagement et de feedback. Les principes de design, comme le fait de fixer des objectifs clairs et de proposer des interactions variées, constituent le troisième niveau. L'un des principes les plus populaires repose sur l'équilibre entre la difficulté (challenge) et le niveau de compétences de l'utilisateur, en vue d'atteindre l'état de flow (Csikszentmihalyi, 1998). Au quatrième niveau se trouvent les mécaniques de jeu telles que l'utilisation de contraintes de temps, ou de ressources limitées. Enfin des éléments d'interface concrets découlent de ces mécaniques, parmi lesquels :

- les compteurs de points,
- les badges (trophée symbolisant l'accomplissement d'une tâche),
- les tableaux de score.

Ces éléments communs reposent tous sur une quantification de l'activité de l'utilisateur dans le but de lui offrir une récompense. Dans cet article nous utilisons le terme « fonctionnalité ludique » pour référer à une mécanique de jeu qui prend la forme d'un ou plusieurs éléments d'interface. Par exemple, un compteur de points récompense l'utilisateur par des badges quand il atteint un score donné.

2.2. Modèles de joueur

Les modèles de personnalités de joueurs sont relativement nombreux. La classification de (Bartle, 1996) est l'une des plus connues avec quatre types de joueurs (*killer, explorer, achiever, socializer*). Par ailleurs, (Yee, 2006) a identifié trois composants principaux de la motivation : accomplissement, social et immersion. On note cependant que ces typologies de joueurs sont issues de travaux spécifiques aux jeux de rôles multijoueurs, et que rien ne garantit qu'ils soient applicables au contexte de la ludification. D'après un état de l'art des précédents modèles de joueurs, Ferro *et al.* (Ferro *et al.*, 2013) ont conçu un nouveau modèle fondé sur cinq types de joueurs : dominant, objectiviste, humaniste, curieux et créatif. Ils ont relié leurs types de joueurs directement à des mécaniques de jeu. L'une des classifications les plus récentes est la classification BrainHex (Nacke *et al.*, 2014), qui a été définie d'après des études neurologiques et comporte sept types de joueurs :

- le « *Seeker* » aime la découverte et l'exploration,
- le « *Survivor* » aime avoir peur et devoir fuir,
- le « *Daredevil* » aime le risque et réussir de justesse,
- le « *Mastermind* » aime résoudre des énigmes et établir des stratégies,
- le « *Conqueror* » aime vaincre des adversaires puissants,
- le « *Socializer* » aime interagir avec d'autres joueurs,
- l'« *Achiever* » aime accomplir des tâches.

Contrairement aux classifications précédentes, Brainhex n'est pas liée à un genre vidéoludique particulier. De plus elle est accompagnée d'un questionnaire de classification des utilisateurs qui a déjà été utilisé plus de 60 000 fois. C'est pourquoi nous utilisons cette classification comme base de notre modèle de joueur.

2.3. Adaptation des jeux et de la ludification

2.3.1. Adaptation dans les jeux

Hocine *et al.* ont dressé un état de l'art des techniques d'adaptation des jeux (Hocine *et al.*, 2011). Parmi les 16 techniques d'adaptation présentées, une majorité adapte le niveau de difficulté de différentes manières : en changeant le comportement de l'adversaire, la vitesse du jeu ou le scénario. Les autres travaux proposent d'ajuster certains paramètres du jeu, ou encore les aspects pédagogiques (Marne *et al.*, 2013), mais ne proposent pas la modification des mécaniques de jeu.

Nous avons trouvé trois études qui adaptent réellement la dynamique d'un jeu. (Thue *et al.*, 2007) ont travaillé sur la narration adaptative. Leur système adapte les événements qui arrivent dans le jeu et modifient donc le « *gameplay* ». Dans (Göbel *et al.*, 2010) le système adapte les scènes d'un jeu sérieux pour convenir aux préférences utilisateurs. La troisième étude (Natkin *et al.*, 2007) présente une réelle modification des mécaniques de jeu en fonction de la personnalité du joueur. Le système propose

aux utilisateurs différentes quêtes en fonction de leur profil personnel. Leur profil est basé sur le modèle FFM (*Five Factor Model*), un profil qui classe les individus selon cinq dimensions psychologiques.

2.3.2. Modèles pour la ludification

L'adaptation de la ludification peut être réalisée suivant le même schéma que l'adaptation dans les jeux : il faut d'abord identifier les propriétés ludiques d'une activité, puis lier ces propriétés aux caractéristiques du joueur. Bien que l'adaptation de la ludification n'en soit qu'à ses débuts, certains modèles conceptualisent les propriétés ludiques sur lesquelles nous pouvons nous appuyer. Comme nous l'avons vu, (Robinson et Bellotti, 2013) présentent une taxonomie des éléments de ludification, mais sans faire de lien avec les types d'utilisateur. (Sailer, 2013) propose une liste d'éléments ludiques et décrit leurs liens avec différents concepts motivationnels. Ces deux travaux expliquent comment la ludification peut motiver, mais ne font pas le lien avec des classifications de joueurs.

(Zichermann et Cunningham, 2011) proposent d'utiliser le *framework* MDA (*Mechanics, Dynamics, Aesthetics*) développé par (Hunicke *et al.*, 2004). Les mécaniques correspondent à un élément de jeu en particulier dans l'interface utilisateur, comme une fonctionnalité ludique. Les dynamiques se placent au niveau de l'interaction entre ces mécaniques de jeu et l'utilisateur. Enfin, les « *aesthetics* » décrivent la réponse émotionnelle du joueur quand il interagit avec le système. Ce modèle donne une place à chaque concept mais n'établit pas de liens entre eux. Dans cet article, nous proposons une méthode pour associer directement les fonctionnalités ludiques aux différents types de joueurs, sans considérer les concepts intermédiaires.

3. Modèle et implémentation d'une ludification adaptative

Notre proposition d'architecture pour la ludification adaptative d'un EIAH (Montserrat *et al.*, 2014) repose sur un moteur d'adaptation éducatif et un moteur d'adaptation ludique, distincts de l'interface et développés indépendamment l'un de l'autre. Le premier repose sur un modèle d'apprenant prenant en compte ses connaissances, le second est fondé sur un modèle de joueur prenant en compte son profil BrainHex. Le premier agit sur les items sur lequel l'apprenant va travailler, le second agit sur les fonctionnalités ludiques implémentées dans l'interface. Seul le moteur d'adaptation ludique est présenté et évalué ici. Les fonctionnalités ludiques ont été implémentées de manière à pouvoir être activées et désactivées simplement, sans que cela n'ait de conséquence sur l'apprentissage et sur la cohérence de l'activité.

3.1. Modèle de joueur pour l'adaptation

Afin de présenter à l'apprenant la fonctionnalité qui lui est la plus adaptée, le modèle doit prédire si les apprenants apprécieront ou non les fonctionnalités ludiques développées. Si nous avons m apprenants et n fonctionnalités, ce résultat peut s'exprimer sous la forme d'une matrice $m \times n$ dans laquelle chaque valeur révèle l'appréciation de l'utilisateur pour la fonctionnalité associée. Nous appelons cette matrice **R**.

La matrice **R** peut s'exprimer comme le produit de deux matrices nommées **B** et **A** (cf. Fig. 1). Si nous exprimons le profil d'un joueur sous la forme d'un vecteur composé de k facteurs, la matrice **B** est de dimensions $m \times k$ et la matrice **A** de dimension $k \times n$. Une ligne de la matrice **B** représente le degré d'appartenance du joueur à chacun des k facteurs. Une colonne de la matrice **A** représente le poids de chaque facteur contribuant à la fonctionnalité correspondante.

Ce modèle suppose une relation linéaire entre les facteurs d'un profil et les préférences aux fonctionnalités ludiques : pour chaque facteur (**A**) dont la valeur n'est pas nulle, le profil d'un utilisateur (**B**) modifie en proportion sa préférence pour les fonctionnalités correspondantes (**R**). Le modèle linéaire se distingue du modèle conjonctif pour lequel l'ensemble des facteurs est nécessaire pour obtenir une préférence haute, et du modèle disjonctif pour lequel un seul facteur est suffisant pour obtenir une préférence haute. La figure 1 illustre par un exemple simplifié l'utilisation des matrices **B** et **A** pour obtenir la matrice **R** grâce à l'égalité $R = B A$. Il comporte 4 utilisateurs (u1-u4), 3 fonctionnalités (f1-f3) et un modèle de joueur à 2 facteurs : compétition (C) et social (S).

	f1	f2	f3		C	S		f1	f2	f3		
u1	10	00	05	=	u1	10	00	C	1	0	½	
u2	00	06	12		u2	00	12	x	S	0	½	1
u3	06	03	09		u3	06	06					
u4	-08	03	02		u4	-08	06					

Figure 1 • Un exemple d'application du modèle de joueur linéaire $R = B A$.

Dans cet exemple, la matrice **R** exprime les préférences de quatre joueurs (u1 à u4) envers trois fonctionnalités (f1 à f3). La matrice **B** (au centre) représente le profil de chaque joueur par un vecteur k comportant deux facteurs : compétition (C) et social (S). La matrice **A** (à droite) représente le degré de correspondance entre chaque facteur et chaque fonctionnalité. Dans cet exemple, nous observons que la première fonctionnalité (f1) est principalement axée sur la compétition, la deuxième (f2) fait émerger des mécaniques de jeu plus sociales, et la troisième (f3) met en place un peu de compétition et beaucoup de relations sociales.

En connaissant les sensibilités des utilisateurs aux différentes mécaniques de jeu (**B**) et la correspondance entre ces mécaniques et les fonctionnalités ludiques (**A**), une simple multiplication des matrices **B** et **A** permet d'obtenir l'appréciation des fonctionnalités par les utilisateurs sous la forme de la matrice **R**. Le premier utilisateur (u1) est sensible avant tout à la compétition. En conséquence, c'est la fonctionnalité f1 qui lui convient le mieux. Le deuxième utilisateur (u2) est sensible avant tout aux interactions sociales. C'est la fonctionnalité f3 qui lui convient le mieux, comme pour le troisième utilisateur (u3) qui aime autant la compétition que les interactions sociales. Le dernier utilisateur (u4) est motivé par les interactions sociales, mais il n'apprécie pas du tout la compétition. Par conséquent, c'est f2 qui lui convient le mieux.

Dans un souci de simplification, l'exemple ci-dessus ne comporte que 2 dimensions. Dans ces travaux, nous utilisons le modèle de joueur BrainHex qui comporte 7 dimensions, comme indiqué dans la partie 2.2. Avec BrainHex, les individus n'appartiennent pas à un type de joueur unique. Ce modèle attribue à l'utilisateur une valeur dans [-10 ; 20] sur chacune des dimensions du profil de joueur. La matrice **B** comporte donc 7 colonnes et des valeurs comprises entre -10 et 20. Il en résulte que des valeurs négatives peuvent apparaître dans la matrice **R**. Celles-ci indiquent que la fonctionnalité est contre-adaptée à l'utilisateur et pourrait avoir un impact négatif sur sa motivation.

3.2. Environnement et fonctionnalités ludiques

Les expérimentations s'appuient sur un environnement d'apprentissage appelé Projet Voltaire, un environnement en ligne d'apprentissage de l'orthographe française. Il repose sur un mode d'interaction simple : le système présente une phrase potentiellement fautive à l'utilisateur. Celui-ci doit cliquer sur la faute s'il en voit une, ou cliquer sur le bouton « il n'y a pas de faute » s'il n'en voit pas. Après avoir répondu, l'apprenant peut consulter la règle explicative (cf. figure 2). Les phrases sont associées à des règles d'orthographe et de grammaire. Les règles sont regroupées au sein de niveaux. La sélection des phrases est déterminée par un moteur d'adaptation pédagogique modélisant les connaissances de l'apprenant.

Le Projet Voltaire est équipé d'un moteur d'apprentissage prenant en compte l'état des connaissances de l'apprenant. Le moteur d'adaptation et cinq fonctionnalités ludiques ont été implémentés dans le Projet Voltaire par l'entreprise Woonoz, indépendamment du moteur d'apprentissage existant, tel que décrit dans la section 3.



Figure 2 • Interface utilisateur du Projet Voltaire.

La première fonctionnalité est un groupe d'étoiles, que l'utilisateur voit s'allumer une à une lorsqu'il apprend des règles de grammaire. La seconde est un tableau de scores (cf. figure 3). Il classe les utilisateurs en fonction de leur meilleur nombre consécutif de bonnes réponses. Il ne montre pas les meilleurs utilisateurs du groupe mais ceux qui précèdent l'utilisateur concerné, dans le but de présenter un challenge accessible. La troisième fonctionnalité ludique propose aux utilisateurs de partager entre eux des moyens mnémotechniques pour mieux retenir les règles de grammaire. Elle encourage les interactions sociales. La quatrième fonctionnalité représente un randonneur qui progresse sur un chemin à chaque fois que l'utilisateur fait une bonne réponse. Lorsque ce dernier atteint certains points, elle lui donne accès à des anecdotes sur l'orthographe. La cinquième fonctionnalité affiche en permanence un chronomètre qui défile pendant que l'utilisateur répond. Cela lui donne l'opportunité de remporter des coupes s'il est assez rapide.

Les concepteurs des fonctionnalités ludiques ont veillé à implémenter à travers elles des mécaniques de jeu diverses, et à respecter les règles d'indépendance. Chaque fonctionnalité est notamment accompagnée d'une croix permettant à tout utilisateur de la masquer. La figure 3 propose une vue partielle des cinq fonctionnalités.



Figure 3 • Capture d'écran des 5 fonctionnalités implémentées.

3.3. Construction de la A-matrice

Dans une étude précédente, nous avons comparé deux façons d'obtenir une A-matrice (Monterrat *et al.*, 2015). L'expérimentation comparait une A-matrice obtenue à partir de l'avis d'experts et une A-matrice obtenue empiriquement à partir des préférences des utilisateurs. La matrice issue des experts s'est montrée plus fiable, c'est donc celle sur laquelle nous nous appuyons pour cette expérimentation.

Six experts, spécialisés en jeux sérieux et en ludification, ont été sollicités pour remplir une A-matrice de poids associant les types de joueurs et les fonctionnalités implémentées dans le Projet Voltaire. Ils ont d'abord pris connaissance de la typologie de joueur BrainHex. Ils ont ensuite utilisé le Projet Voltaire pendant environ une heure, interagissant avec chacune des 5 fonctionnalités ludiques. Ils pouvaient choisir les valeurs parmi les suivantes :

1. Correspondance totale : 1
2. Correspondance forte : 0,75
3. Correspondance moyenne : 0,50
4. Correspondance faible : 0,25
5. Aucune correspondance : 0

La A-matrice des experts a ensuite été calculée en sélectionnant la médiane des 6 avis d'experts sur chacune des 35 valeurs. La médiane est une bonne manière de chercher le consensus, sans être influencé par une note extrême donnée par un seul expert. Le tableau 1 présente la A-matrice des avis des experts ainsi obtenue.

Tableau 1 • A-matrice issue de la consultation des experts. Colonnes : fonctionnalités ludiques. Lignes : types de joueurs BrainHex.

	Etoiles	Tab. de scores	Astuces	Randonneur	Chronomètre
<i>Seeker</i>	0,5	0	0,75	0,88	0
<i>Survivor</i>	0,13	0,5	0	0	0,38
<i>Daredevil</i>	0,63	0,63	0	0,13	0,88
<i>Mastermind</i>	0,63	0,63	0,38	0,25	0,25

<i>Conqueror</i>	0,75	1	0,13	0,38	0,75
<i>Socializer</i>	0,13	0,13	1	0,25	0
<i>Achiever</i>	1	0,75	0,13	0,88	1

Cette A-matrice a été utilisée dans la formule $R = B A$ pour obtenir la prédiction R-experts.

Il est nécessaire que les experts soient d'accord entre eux pour que la A-matrice des experts soit considérée comme valide. Cela garanti que la matrice médiane reflète une réelle tendance. Nous avons utilisé la corrélation intra-classe (ICC) (Shrout et Fleiss, 1979) comme outil de mesure. Nous obtenons une valeur de 0,43 pour la corrélation entre les 6 experts, une valeur modérée mais suffisante pour confirmer l'accord entre eux. Cette A-matrice a donc été utilisée selon la formule $R = B A$ pour obtenir la matrice de prédiction R.

4. Étude sur l'impact de la ludification adaptative

Nous avons conçu une expérimentation visant à répondre principalement à cette question : « La ludification adaptative basée sur notre modèle peut-elle améliorer la participation des utilisateurs, et leur motivation à utiliser l'environnement d'apprentissage ? » Le niveau de motivation et l'appréciation des fonctionnalités peuvent être évalués par questionnaire. Le niveau de participation peut être obtenu en mesurant directement le temps passé par les utilisateurs sur l'environnement d'apprentissage. Nous avons alors posé les trois hypothèses suivantes :

- H1. Des utilisateurs avec des fonctionnalités adaptées passent plus de temps sur l'environnement que des utilisateurs avec des fonctionnalités mal adaptées ou sans fonctionnalités.
- H2. Des utilisateurs avec des fonctionnalités adaptées apprécient mieux ces fonctionnalités que des utilisateurs avec des fonctionnalités mal adaptées ou sans fonctionnalités.
- H3. Des utilisateurs avec des fonctionnalités adaptées ont un niveau de motivation plus élevé que des utilisateurs avec des fonctionnalités mal adaptées ou sans fonctionnalités.

4.1. Conditions expérimentales

4.1.1. Participants

Un appel à volontaires a été diffusé sur la page *Facebook* du Projet Voltaire. Les volontaires devaient remplir le questionnaire BrainHex et donner leur adresse e-mail pour s'inscrire. Le jour de la fermeture des inscriptions, nous avions 338 volontaires. Nous avons créé un groupe de 140 inscrits avec des fonctionnalités adaptées, un groupe de 140 inscrits avec des fonctionnalités contre-adaptées et un groupe de 58

inscrits sans fonctionnalité ludique. Les volontaires ont été attribués aléatoirement à chacun des groupes. 266 des 338 volontaires se sont effectivement connectés au Projet Voltaire pendant la période d'expérimentation. Les participants effectifs étaient répartis ainsi :

- Groupe FA (Fonctionnalités adaptées) : 112 participants
- Groupe FC (Fonctionnalités Contre-adaptées) : 111 participants
- Groupe SF (Sans Fonctionnalité) : 43 participants

Les participants étaient à 79% des femmes. Ils étaient âgés de 18 à 75 ans (moyenne = 40,3 ans, écart type = 9,8 ans). La seule récompense qu'ont obtenue les utilisateurs pour leur participation était l'accès gratuit au Projet voltaire pendant la durée de l'expérimentation.

4.1.2. Protocole

Nous avons calculé la matrice R de prédiction des préférences des utilisateurs pour les fonctionnalités sur la base des matrices A (A-matrice des experts) et B (profils de joueur), selon la formule $R = B A$. Afin d'équilibrer les probabilités de sélection des fonctionnalités entre elles, nous avons ensuite normalisé les valeurs de R.

Les participants en conditions adaptées (FA) ont reçu les deux fonctionnalités ayant le meilleur score pour eux selon R. Les participants en conditions contre-adaptées (FC) ont reçu les deux fonctionnalités ayant les scores les plus bas pour eux selon R. Les membres du groupe SF n'avaient aucune fonctionnalité active dans leur environnement d'apprentissage. Le tableau 2 montre la répartition des fonctionnalités activées selon les groupes.

Tableau 2 • Répartition des fonctionnalités selon les groupes

	Étoiles	Tab.	Astuces	Rando.	Chrono	total
FA	20	45	54	60	45	224
FC	17	56	49	46	54	222
total	37	101	103	106	99	

Les étoiles ont été sélectionnées moins souvent que les autres fonctionnalités dans le processus. La raison de cela est que cette fonctionnalité convient relativement bien à tous les types de joueurs (comme le montre la A-matrice sur le tableau 1). Par conséquent les étoiles ont rarement été identifiées comme faisant partie des deux fonctionnalités les mieux adaptées (FA) ou des deux moins bien adaptées (FC).

Une fois le système initialisé, les participants ont reçu leurs identifiants pour se connecter au Projet Voltaire. Ils pouvaient alors utiliser le Projet Voltaire librement pendant une période de 3 semaines.

4.2. Résultats

4.2.1. Durée d'utilisation de l'environnement

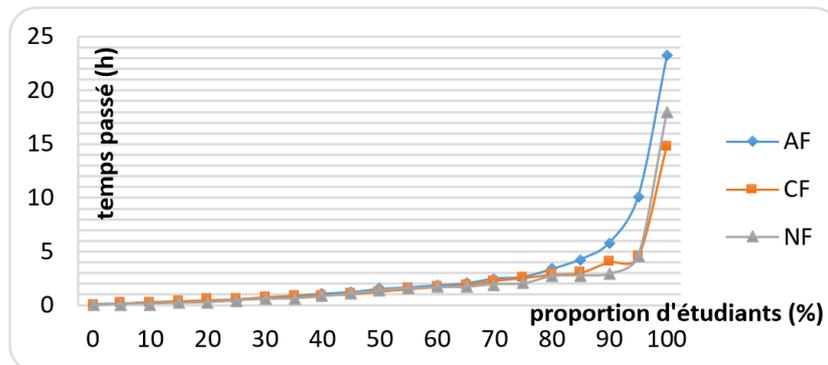
Le tableau 3 représente le nombre de sessions et la durée totale moyenne passée sur le Projet Voltaire par chacun des trois groupes. Un test d'indépendance a été réalisé pour confirmer les différences observées.

Tableau 3 • Durée moyenne passée sur le Projet Voltaire
n = effectif m = moyenne, sd = écart type

Groupe	n	m	sd	test de Student avec FA	test de Wilcoxon avec FA
AF	112	2h36	2h20	N.A.	N.A.
CF	111	1h54	1h22	0.047	0.85
SF	43	1h53	1h29	0.104	0.378

Pendant la période de trois semaines, les participants du groupe FA ont passé en moyenne **2h36** sur le Projet Voltaire, tandis que les membres du groupe FC n'étaient connectés que **1h54**. Cela représente un écart de 42 minutes, soit 37 % de temps supplémentaire pour les membres du groupe FA par rapport à FC. Cet écart est confirmé avec le test de *Student* ($p = 0,047$, $p < 5\%$).

Nous présentons également les résultats au test de Wilcoxon, réalisé en raison des grands écarts types observés quant à la distribution des temps passés sur le site. Ce



test n'est pas significatif. Le désaccord entre le test de Student et le test de Wilcoxon nous a amenés à regarder plus en détails la distribution des résultats dans chaque groupe. Elle est présentée sur la figure 4.

Figure 4 • Temps passé sur le Projet Voltaire en fonction du pourcentage cumulatif de participants dans chaque groupe.

La figure 4 révèle un comportement similaire dans les trois groupes pour les premiers 75 % des utilisateurs, et des différences importantes pour les 25 % des utilisateurs les plus engagés. Nous présentons ces résultats en détail dans le tableau 4.

Tableau 4 • Temps passé sur le Projet Voltaire pour les 75% des utilisateurs les moins engagés et pour les 25% les plus engagés.
n = effectif, m = moyenne, sd = écart type

	les 75% moins engagés				les 25% plus engagés			
	n	m	sd	Wil. avec FA	n	m	sd	Wil. avec FA
FA	83	1h01	0h39	N.A.	29	7h08	4h07	N.A.
FC	82	1h00	0h33	0,778	29	4h24	1h43	0,006
SF	31	0h51	0h35	0,333	12	4h31	2h47	0,007

Pour les 75 % des utilisateurs les moins engagés, la durée moyenne de participation est presque la même dans les trois groupes, FA, FC et SF, allant de quelques secondes à deux heures. Pour les 25 % des utilisateurs les plus actifs, il y a une différence très importante dans le temps de participation. Le test de Wilcoxon réalisé sur ces participants montre des résultats très significatifs quand on compare le groupe avec fonctionnalités adaptées (FA) à celui qui avait des fonctionnalités contre-adaptées (FC) ($p = 0,006$, $p < 0,01$), mais aussi à celui sans fonctionnalités (SF) ($p = 0,007$, $p < 0,01$).

Ce résultat nous permet d'accepter l'hypothèse H1, les participants avec fonctionnalités adaptées ayant passé significativement plus de temps que les autres sur le Projet Voltaire. Cependant, nous devons signaler que ce gain ne s'applique qu'aux utilisateurs les plus engagés au départ, c'est à dire ceux qui ont passé plus de deux heures sur le Projet Voltaire.

L'équivalence des temps passés pour le groupe avec fonctionnalités contre-adaptées (FC) et celui sans fonctionnalités (SF) est un autre résultat important. Cela signifie que les fonctionnalités ludiques n'ont eu aucun impact sur le temps de participation des utilisateurs lorsqu'elles n'étaient pas en correspondance avec leur profil de joueur.

4.2.2. Motivation des participants

Pour évaluer la motivation des utilisateurs, nous avons utilisé le questionnaire SIMS (*Situational Motivation Scale*) de (Guay *et al.*, 2000). Nous présentons les résultats du questionnaire sur le tableau 5. Les valeurs s'expriment sur une échelle de 4 à 28. Les effectifs dépendent du nombre total de 178 répondants au questionnaire final. Les comparaisons ont été réalisées avec le test de *Student*

Tableau 5 • Résultats sur la motivation des participants
n = effectifs, m = moyenne, sd = écart type

	n	Motivation intrinsèque		Régulation identifiée		Amotivation	
		m	sd	m	sd	m	sd
FA	73	21,2	3,8	24,3	2,7	5,1	1,4
FC	75	21,1	4,2	23,6	3,5	6,1	2,7
SF	30	22,9	2,6	25,0	2,9	5,2	1,5

Les valeurs de *motivation intrinsèque* sont globalement hautes pour les trois groupes. La motivation intrinsèque est équivalente pour les groupes FA et FC. Par ailleurs, elle est significativement plus élevée pour le groupe sans fonctionnalité (SF), à la fois par rapport au groupe FA ($p = 0,031$) et par rapport au groupe FC ($p = 0,039$).

Les valeurs de *régulation identifiée* sont globalement hautes pour les trois groupes. La régulation identifiée est également équivalente pour les groupes FA et FC. Elle semble aussi plus faible pour les groupes avec fonctionnalités que pour le groupe SF, mais de manière non significative ($p > 0,05$).

Les valeurs de *l'amotivation* sont globalement faibles pour les trois groupes. Cependant, l'amotivation est significativement plus élevée pour le groupe avec fonctionnalités contre-adaptées que pour le groupe avec fonctionnalités adaptées ($p = 0,018$, $p < 0,05$). Cette différence signifie que les participants du groupe FC étaient moins motivés à continuer l'activité que ceux du groupe FA. Nous n'observons pas de différence significative entre les groupes d'utilisateurs ayant des fonctionnalités adaptées et ceux n'ayant aucune fonctionnalité. Ces résultats nous permettent de valider partiellement l'hypothèse H3, l'adaptation des fonctionnalités ludiques réduit l'amotivation des utilisateurs, la maintenant au même niveau qu'un environnement non ludifié. Ces résultats sont cohérents par rapport à ceux d'autres expérimentations que nous discutons dans la section 4.3.

4.2.3. Appréciation des fonctionnalités

Pour chacune des fonctionnalités présentes dans leur interface, nous avons demandé aux utilisateurs de noter l'affirmation « J'apprécie cette fonctionnalité ». Les valeurs possibles pour la réponse étaient : 1 = « Non, pas du tout », 2 = « Très peu », 3 = « Un peu », 4 = « Moyennement », 5 = « Assez », 6 = « Tout à fait », 7 = « Oui, parfaitement ».

Les valeurs moyennes d'appréciation des fonctionnalités sont présentées dans le tableau 6.

Tableau 6 • Appréciation des fonctionnalités selon les groupes
n = effectifs, m = moyenne, sd = écart type

	Étoiles	Tableau	Astuces	Rando.	Chrono.	Toutes
--	---------	---------	---------	--------	---------	--------

	n	m	sd										
FA	73	4,1	1,9	4,6	1,5	5,2	1,1	4,3	1,6	5,5	1,4	4,6	1,3
FC	75	5,5	0,9	4,4	1,4	4,6	1,5	4,2	1,7	5,1	1,3	4,7	1,4
total	148	4,8	1,6	4,5	1,5	4,9	1,2	4,3	1,6	5,2	1,4		

Les participants avec des fonctionnalités adaptées et les participants avec des fonctionnalités contre-adaptées ont donné des valeurs similaires d'appréciation pour la plupart des fonctionnalités. La seule fonctionnalité pour laquelle la différence est supérieure à 1 point est celle des étoiles, mais les effectifs sont trop faibles pour conclure à un écart significatif. Avec une moyenne de 4,6 pour FA et 4,7 pour FC, les utilisateurs avec des fonctionnalités adaptées à leur profil **les apprécient autant** que des utilisateurs avec des fonctionnalités contre-adaptées. Ce résultat nous amène à rejeter l'hypothèse H2, l'appréciation des fonctionnalités semblant être indépendante du fait qu'elles soient adaptées au profil de l'utilisateur.

4.2.4. Impact de binômes de fonctionnalités

Nous avons observé dans les trois sections précédentes que l'adaptation des fonctionnalités : (1) augmente le temps passé sur l'environnement d'apprentissage, (2) diminue l'amotivation et (3) semble ne pas avoir d'impact sur l'appréciation des fonctionnalités. Pour confirmer l'indépendance de ces résultats avec la distribution initiale des fonctionnalités entre les groupes FA et FC, nous avons appliqué ces comparaisons à des sous-groupes d'utilisateurs ayant reçu exactement les mêmes fonctionnalités. Afin de sélectionner ces groupes, le tableau 7 montre la répartition des binômes de fonctionnalités parmi les membres des groupes FA et FC.

Seuls deux binômes de fonctionnalités sont présents en effectifs suffisants pour étudier leur impact de façon indépendante : les fonctionnalités 2 et 5 (tableau de score et chronomètre) et les fonctionnalités 3 et 4 (astuces et randonneur).

Tableau 7 • Effectifs selon les binômes de fonctionnalités attribués dans les groupes FA et FC

FA	F1	F2	F3	F4	F5	FC	F1	F2	F3	F4	F5
F1						F1					
F2	2					F2	4				
F3	1	11				F3	4	9			
F4	15	0	38			F4	8	0	32		
F5	2	32	4	7		F5	1	43	4	6	

Dans le tableau 8, nous observons les variations dans le temps passé sur le site par ces sous-groupes de participants, ainsi que leur amotivation et leur appréciation des fonctionnalités.

Tableau 8 • Durée, amotivation et appréciation des fonctionnalités pour les participants avec les fonctionnalités (2 et 5) ou (3 et 4)

2 et 5	Durée	Amotiv.	Appréc	3 et 4	Temps	Amotiv.	Appréc.
FA	3h18	5,8	4,8	FA	2h28	4,4	5,0
FC	1h58	5,9	4,6	FC	2h02	7,0	4,8

Les participants ayant les fonctionnalités 2 et 5 dans le groupe FA ont passé en moyenne 1h20 de plus sur le Projet Voltaire que les participants du groupe FC avec les mêmes fonctionnalités. Cet écart n'est pas significatif à $p < 0,05$ ($p = 0,078$), mais la p-value est appréciable compte-tenu de la taille des échantillons et de l'ampleur de la différence ($p < 0,01$). Par ailleurs, les participants avec les fonctionnalités 2 et 5 montrent des niveaux identiques d'amotivation et d'appréciation des fonctionnalités dans les groupes FA et FC.

Les participants ayant les fonctionnalités 3 et 4 dans le groupe FA ont passé 20 minutes en moyenne de plus sur le Projet Voltaire que les participants du groupe FC avec les mêmes fonctionnalités, un écart relativement faible et non significatif. Par ailleurs, les participants avec les fonctionnalités 3 et 4 avaient un niveau d'amotivation significativement plus bas dans le groupe FA que dans le groupe FC ($p = 0,006$, $p < 0,01$).

La comparaison des groupes ayant les fonctionnalités 2 et 5 confirme l'impact de l'adaptation sur le temps passé avec l'environnement d'apprentissage. La comparaison des groupes ayant les fonctionnalités 3 et 4 confirme le gain de motivation. Les deux groupes confirment que l'adaptation n'a pas d'incidence sur l'appréciation des fonctionnalités.

4.3. Discussion

4.3.1. Impact de l'adaptation des fonctionnalités

Concernant l'hypothèse H1 (temps passé), les résultats ont montré que (1) les utilisateurs avec fonctionnalités contre-adaptées passent autant de temps que les utilisateurs sans fonctionnalités ludiques sur l'environnement, (2) les utilisateurs les plus engagés restent significativement plus longtemps quand leurs fonctionnalités sont adaptées que lorsqu'elles ne le sont pas. Nous pouvons donc conclure que des fonctionnalités ludiques n'ont un impact sur la durée d'utilisation d'un environnement que lorsqu'elles correspondent au profil de joueur des utilisateurs. Plus précisément, nous avons observé que les fonctionnalités adaptées n'ont pas d'impact sur tous les utilisateurs mais seulement sur les plus engagés (25 % dans cette étude). Nous supposons que la raison à cela est que les fonctionnalités agissent sur les utilisateurs seulement au-delà d'un temps d'utilisation minimal. Cela implique que d'autres

mécanismes doivent être utilisés pour retenir les utilisateurs pour les premières minutes d'utilisation.

Concernant l'hypothèse H2 (appréciation des fonctionnalités), les résultats n'ont montré aucune différence entre les groupes selon l'adaptation des fonctionnalités. Ce résultat est surprenant, car d'autres mesures ont montré un impact significatif de l'adaptation des fonctionnalités sur le comportement des utilisateurs. Cela suggère que l'appréciation consciente des fonctionnalités par les utilisateurs est indépendante de l'impact que ces fonctionnalités auront sur leur comportement. Ce résultat a des conséquences importantes sur la manière dont est réalisée l'adaptation : il implique que l'adaptation ne peut pas être réalisée à partir du choix des utilisateurs.

Concernant l'hypothèse H3 (motivation), nous avons tout d'abord observé que la motivation intrinsèque est plus faible pour ceux qui utilisent un environnement ludifié. Ce résultat est similaire à ceux observés dans des études récentes telles que celle de (Hanus et Fox, 2015). Pour les utilisateurs qui sont déjà intrinsèquement motivés par l'activité d'apprentissage (tel que c'était le cas dans notre étude), l'intégration de fonctionnalités ludiques peut avoir un effet négatif sur leur motivation. Par ailleurs, les résultats du questionnaire sur la motivation ont montré que le fait d'utiliser des fonctionnalités adaptées aux utilisateurs permet de maintenir leur niveau d'amotivation aussi bas que si l'environnement n'était pas ludifié. Ce résultat conforte le besoin de ludification adaptative.

Enfin, nous avons également observé des différences significatives concernant l'amotivation et la participation des étudiants en fonction des fonctionnalités. Cela tend à montrer que l'impact de la fonctionnalité sur les utilisateurs diffère selon les mécanismes qu'elle implémente : certaines ont un impact sur la motivation et d'autres sur le temps passé. Par exemple, le chronomètre encourage les utilisateurs à recommencer un niveau pour battre leur meilleur temps, et ainsi à pratiquer plus longtemps. D'un autre côté, les astuces donnent aux utilisateurs un moyen d'aider les autres participants, ceci donnant plus de sens à l'activité pour eux. Nous pensons que ces premiers résultats ont un impact important sur la façon dont doivent être conçues les fonctionnalités ludiques selon l'impact désiré chez les utilisateurs. D'autres travaux permettraient d'étudier plus particulièrement quel type de fonctionnalité a un impact plutôt sur la motivation ou plutôt sur la participation des utilisateurs.

4.3.2. Limites de l'étude

Il aurait été intéressant de mesurer l'impact des fonctionnalités non seulement sur l'engagement, mais plus directement sur les résultats d'apprentissage de l'activité. Cela peut généralement être mesuré par le calcul du taux de bonnes réponses des participants ou le temps qu'ils mettent pour répondre (Attali et Arieli-Attali, 2015).

Cependant cela n'était pas possible dans le cadre cette étude, car le moteur d'adaptation pédagogique du Projet Voltaire adaptait le niveau de difficulté des exercices en temps réel, ce qui fait que tous les utilisateurs avaient des taux de bonnes réponses similaires.

Nous sommes conscients que le système de ludification proposé ne s'applique qu'à un certain type d'environnement, notamment avec des activités pédagogiques répétitives et structurées telles que les questionnaires à choix multiples. De telles fonctionnalités ludiques ne conviennent pas à des activités plus complexes, telles que celles favorisant la créativité. Cependant, les questionnaires et petits exercices sont actuellement très répandus dans les LMS (*Learning Management Systems*) tels que Moodle. De plus, de telles activités ont particulièrement besoin de la ludification, à cause de leur nature peu intrinsèquement motivante.

Pour terminer, notons que les participants à cette expérimentation étaient tous les volontaires intéressés par l'utilisation de l'environnement d'apprentissage. Cela a probablement joué un rôle dans les résultats concernant la motivation. Il serait intéressant de conduire une telle expérimentation dans un contexte où les participants ne s'engagent pas dans l'activité par choix, dans un contexte scolaire par exemple.

5. Conclusion et perspectives

Dans cet article nous avons présenté un modèle d'adaptation pour proposer à un apprenant utilisant un environnement d'apprentissage en ligne des fonctionnalités ludiques qui correspondent à son profil de joueur. Ce modèle est basé sur une relation linéaire entre les types de joueurs et les fonctionnalités. Nous avons mené une expérimentation en conditions écologiques et avons montré que la ludification adaptative (1) peut améliorer significativement la participation des utilisateurs sur l'environnement d'apprentissage et (2) peut réduire le niveau d'amotivation des utilisateurs. Par ailleurs, certains résultats suggèrent que la participation et la motivation des utilisateurs ne sont pas nécessairement reliés, et peuvent être influencés par des mécaniques de jeu différentes.

Le système proposé sélectionne les fonctionnalités ludiques en prenant en compte le profil de joueur des utilisateurs, mais ne prend actuellement pas en compte par exemple ceux qui ne souhaitent pas jouer. Une prochaine version du système pourrait faire varier non seulement le choix des fonctionnalités mais aussi le nombre de fonctionnalités activées pour un utilisateur donné. Le système déciderait par exemple de ne donner aucune fonctionnalité à un utilisateur déjà intrinsèquement motivé par l'activité pédagogique, et trois fonctionnalités ou plus à un utilisateur initialement démotivé mais sensible aux mécaniques de jeu. Cela préviendrait la baisse de la motivation intrinsèque des utilisateurs.

Actuellement, l'adaptation est rendue possible grâce au questionnaire BrainHex que l'utilisateur remplit avant de commencer à utiliser l'EIAH. La suite de notre travail sera dédiée à la mise à jour du profil de joueur en temps réel à partir des traces d'utilisation. Cela permettra de prendre en compte les modifications du profil de joueur de l'utilisateur, en réduisant l'utilisation du questionnaire BrainHex et en utilisant des méthodes de classification non supervisées.

Remerciements

Nous remercions l'ANRT et l'entreprise Woonoz pour le financement de ce travail de recherche. Nous remercions également l'équipe de Woonoz pour le travail de développement de la version expérimentale du Projet Voltaire et la mise en relation avec la communauté d'utilisateurs qui s'est portée volontaire pour participer à l'expérience. Nous remercions aussi les experts pour leur travail sur la A-matrice. Enfin nous remercions International Hobo pour nous avoir permis d'utiliser librement le questionnaire BrainHex.

BIBLIOGRAPHIE

(Aleven *et al.*, 2015)

Aleven, V., Sewall, J., Popescu, O., van Velsen, M., Demi, S. et Leber, B. (2015). Reflecting on twelve years of ITS authoring tools research with CTAT. Dans *Design recommendations for adaptive intelligent tutoring systems*, 3, 263-283.

(Attali et Arieli-Attali, 2015)

Attali, Y. et Arieli-Attali, M. (2015). Gamification in assessment: Do points affect test performance? *Computers & Education*, 83, 57-63.

(Bartle, 1996)

Bartle, R. (1996). Hearts, clubs, diamonds, spades: Players who suit MUDs. *Journal of MUD research*, 1(1) Repéré à <http://mud.co.uk/richard/hcds.htm>

(Bíró, 2014)

Bíró, G. I. (2014). Didactics 2.0: A Pedagogical Analysis of Gamification Theory from a Comparative Perspective with a Special View to the Components of Learning. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 141, 148-151.

(Bloom, 1984)

Bloom, B. S. (1984). The 2 sigma problem: The search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring. *Educational researcher*, 13(6), 4-16.

(Bonenfant et Genvo, 2014)

Bonenfant, M. et Genvo, S. (2014). Une approche située et critique du concept de gamification. *Sciences du jeu*, 2.

(Callan *et al.*, 2015)

- Callan, R. C., Bauer, K. N. et Landers, R. N. (2015). How to Avoid the Dark Side of Gamification: Ten Business Scenarios and Their Unintended Consequences. Dans T. Reiners et L. C. Wood (dir.), *Gamification in Education and Business* (p. 553-568).
(Craig et al., 2013)
- Craig, S. D., Hu, X., Graesser, A. C., Bargagliotti, A. E., Sterbinsky, A., Cheney, K. R. et Okwumabua, T. (2013). The impact of a technology-based mathematics after-school program using ALEKS on student's knowledge and behaviors. *Computers & Education*, 68, 495-504.
(Csikszentmihalyi, 1998)
- Csikszentmihalyi, M. (1998). *Finding flow: The psychology of engagement with everyday life*. Basic Books.
(Desmarais et Baker, 2012)
- Desmarais, M. C. et Baker, R. S. (2012). A review of recent advances in learner and skill modeling in intelligent learning environments. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 22(1-2), 9-38.
(Deterding et al., 2011)
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R. et Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: defining gamification. Dans *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments* (p. 9–15).
(Fenouillet et Tomeh, 1998)
- Fenouillet, F. et Tomeh, B. (1998). La motivation agit-elle sur la mémoire. *Éducation permanente*, 136(10), 37–45.
(Ferro et al., 2013)
- Ferro, L. S., Walz, S. P. et Greuter, S. (2013). Towards personalised, gamified systems: an investigation into game design, personality and player typologies. Dans *Proceedings of The 9th Australasian Conference on Interactive Entertainment: Matters of Life and Death* (p. 7).
(Göbel et al., 2010)
- Göbel, S., Wendel, V., Ritter, C. et Steinmetz, R. (2010). Personalized, adaptive digital educational games using narrative game-based learning objects. Dans *Entertainment for Education. Digital Techniques and Systems* (p. 438–445). Springer.
(Guay et al., 2000)
- Guay, F., Vallerand, R. J. et Blanchard, C. (2000). On the assessment of situational intrinsic and extrinsic motivation: The Situational Motivation Scale (SIMS). *Motivation and emotion*, 24(3), 175–213.
(Hamari et al., 2014)
- Hamari, J., Koivisto, J. et Sarsa, H. (2014). Does gamification work? – A literature review of empirical studies on gamification. Dans *Proceedings of 47th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)* (p. 3025–3034). IEEE.
(Hanus et Fox, 2015)
- 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 & Education*, 80, 152-161.
(Hocine et al., 2011)
- Hocine, N., Gouaïche, A., Di Loreto, I. et Abrouk, L. (2011). Techniques d'adaptation dans les jeux ludiques et sérieux. *Revue d'intelligence artificielle*, 25(2), 253-280.
(Hunicke et al., 2004)
- Hunicke, R., LeBlanc, M. et Zubek, R. (2004). MDA: A formal approach to game design and game research. Dans *Proceedings of the AAAI Workshop on Challenges in Game AI*. Menlo Park, CA : AAAI Press. Repéré à <http://www.cs.northwestern.edu/~rob/publications/MDA.pdf>

(Huotari et Hamari, 2012)

Huotari, K. et Hamari, J. (2012). Defining gamification: a service marketing perspective. Dans *Proceeding of the 16th International Academic MindTrek Conference* (p. 17-22). ACM.

(Kapp, 2012)

Kapp, K. M. (2012). *The Gamification of Learning and Instruction: Game-based Methods and Strategies for Training and Education*. John Wiley et Sons.

(Marne et al., 2013)

Marne, B., Carron, T., Labat, J.-M. et Marfisi-Schottman, I. (2013). MoPPLiq: A Model For Pedagogical Adaptation of Serious Game Scenarios. Dans *IEEE 13th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)* (p. 291–293).

(Monterrat et al., 2014)

Monterrat, B., Lavoué, E. et George, S. (2014). Motivation for learning: Adaptive gamification for web-based learning environments. Dans *6th International Conference on Computer Supported Education (CSEDU)* (p. 117-125).

(Monterrat et al., 2015)

Monterrat, B., Desmarais, M., Lavoué, E. et George, S. (2015). A player model for adaptive gamification in learning environments. Dans *International Conference on Artificial Intelligence in Education (AIED)* (p. 297-306).

(Monterrat et al., 2017)

Monterrat, B., Lavoué, E. et George, S. (2017). Adaptation of gaming features for motivating learners. À paraître dans *Simulation and Gaming*.

(Nacke et al., 2014)

Nacke, L. E., Bateman, C. et Mandryk, R. L. (2014). BrainHex: A neurobiological gamer typology survey. *Entertainment Computing*, 5(1), 55-62.

(Natkin et al., 2007)

Natkin, S., Yan, C., Jumpertz, S. et Market, B. (2007). Creating Multiplayer Ubiquitous Games Using an Adaptive Narration Model Based on a User's Model. Dans *Digital Games Research Association International Conference (DiGRA 2007)*.

(Prensky, 2001)

Prensky, M. (2001). *Digital game-based learning*. New York : McGraw-Hill.

(Robinson et Bellotti, 2013)

Robinson, D. et Bellotti, V. (2013). A preliminary taxonomy of gamification elements for varying anticipated commitment. Dans *Proc. ACM CHI 2013 Workshop on Designing Gamification: Creating Gameful and Playful Experiences*.

(Sailer, 2013)

Sailer, M. (2013). Psychological Perspectives on Motivation Through Gamification. *Interaction Design and Architecture(s) Journal - IxD&A*, p. 28-37.

(Shrout et Fleiss, 1979)

Shrout, P. E. et Fleiss, J. L. (1979). Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability. *Psychological bulletin*, 86(2), 420.

(Szilas et Sutter Widmer, 2009)

Szilas, N. et Sutter Widmer, D. J. (2009). Mieux comprendre la notion d'intégration entre apprentissage et jeu. Dans S. Georges et E. Sanchez (dir.), *Actes de l'atelier Jeux Sérieux, 4ème conférence francophone Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain* (p. 27-39)..

(Thue et al., 2007)

Thue, D., Bulitko, V., Spetch, M. et Wasylishen, E. (2007). Interactive Storytelling: A Player Modelling Approach. Dans Proceedings of 3rd Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment (AIIDE) (p. 43–48).

(Vassileva, 2012)

Vassileva, J. (2012). Motivating participation in social computing applications: a user modeling perspective. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 22(1-2), 177–201.

(Venhuizen et al., 2013)

Venhuizen, N., Basile, V., Evang, K. et Bos, J. (2013). Gamification for word sense labeling. Dans Proceedings of 10th International Conference on Computational Semantics (IWCS-2013) (p. 397–403).

(Wilson et McDonagh, 2014)

Wilson, A. S. et McDonagh, J. E. (2014). A Gamification Model to Encourage Positive Healthcare Behaviours in Young People with Long Term Conditions. *EAI Endorsed Transactions on Game-Based Learning*, 14(2). doi:10.4108/sg.1.2.e3

(Yee, 2006)

Yee, N. (2006). Motivations for play in online games. *CyberPsychology et Behavior*, 9(6), 772–775.

(Zichermann et Cunningham, 2011)

Zichermann, G. et Cunningham, C. (2011). *Gamification by Design: Implementing game mechanics in web and mobile apps*. O'Reilly Media, Inc.