

Jeu sérieux pour le tri des déchets sur table interactive avec objets tangibles : étude exploratoire

Sophie Lepreux[†]
LAMIH - UMR 8201 Univ.
Polytechnique des Hauts de France
(UPHF), CNRS,
F-59313 Valenciennes, France
sophie.lepreux@univ-
valenciennes.fr

Julian Alvarez
EA 2445 – DeVisu, UPHF,
Play Research Lab – Serre
Numérique, CCI Nord GH, ESPE
Lille, Nord-de-France
Valenciennes, France
j.alvarez@serre-numerique.fr

Clémentine Havrez
LAMIH UMR CNRS 8201,
Université Polytechnique des Hauts
de France, CCI grand-Hainaut
Valenciennes, France

Yoann Lebrun
CCI grand-Hainaut, serre
numérique
Valenciennes, France

Pierette Ethuin
Univ. Littoral Côte d’Opale, EA
7394, ICV Charles Violette,
Convention ANSES, Univ. Lille,
Univ. Artois, INRA, ISA F-62200,
Boulogne-sur-mer, France
pierrette.ethuin-univ-littoral.fr

Christophe Kolski
LAMIH UMR CNRS 8201
Université Polytechnique des Hauts
de France
christophe.kolski@univ-
valenciennes.fr

ABSTRACT

In the field of microbiology training, in which contaminated products must be handled and recycled, there are new needs in order to reduce risks and costs. New advances in Tangible interaction and serious game domains can provide solutions to answer these needs. We propose a serious game relating to waste sorting. It is available on a tangible tabletop equipped with RFID technology. The design and realisation using tangibility and gamification concepts are presented. An exploratory study with students in microbiology and experts is described. The first results obtained are promising. They show the potentiality of the approach.

RESUME

Les avancées dans le domaine de l’interaction tangible et des jeux sérieux permettent d’envisager de nouveaux types de systèmes interactifs pour répondre à de nouveaux besoins. Suite à des besoins exprimés dans le domaine de la formation en microbiologie, domaine dans lequel des produits contaminés doivent être manipulés et recyclés, un jeu sérieux relatif au tri de déchets a été conçu et réalisé sur table tangible équipée de la technologie RFID. Ses principes combinant tangibilité et gamification sont présentés. Il a fait l’objet d’une première évaluation avec des experts, ainsi qu’avec des étudiants en microbiologie. Les premiers résultats obtenus sont prometteurs, montrant la potentialité de l’approche.

CCS CONCEPTS

Human-centred computing~ Interaction paradigms

KEYWORDS

Tangible interaction, serious game, interactive tabletop, RFID, gamification, gameplay, exploratory study, waste sorting, microbiology

MOTS CLES

Interaction tangible, jeu sérieux, table interactive, RFID, gamification, gameplay, étude exploratoire, tri des déchets, microbiologie

1 INTRODUCTION

L’interaction tangible fait l’objet d’un vaste courant de recherche au niveau international. Depuis les premières propositions issues du MIT dans les années 90 [9, 11], de nombreux travaux ont suivi [12, 15, 16, 24]. Des travaux se concentrent en particulier sur les interfaces tangibles pour l’apprentissage [17, 19, 23].

Cet article porte plus particulièrement sur l’interaction tangible sur table interactive, s’inscrivant selon une approche de jeux sérieux. Nous suivons cette définition du jeu sérieux : « une application informatique, dont l’intention initiale est de combiner, avec cohérence, à la fois des aspects sérieux (*Serious*) tels, de manière non exhaustive et non exclusive, l’enseignement, l’apprentissage, la communication, ou encore l’information, avec des ressorts ludiques issus du jeu vidéo (*Game*). » [2]

La combinaison interaction tangible / jeux sérieux, permet d’aborder de nouvelles manières de concevoir les systèmes interactifs, ainsi que de répondre à de nouveaux besoins.

Parmi ces besoins, nous trouvons la problématique rencontrée au sein des enseignements de travaux pratiques (TP) de microbiologie dans le département des Sciences de la Vie et de la Nature (SVN) de l'Université du Littoral Côte d'Opale (ULCO). Dans ce contexte, un ensemble de personnes pour lesquelles un avis médical pour maladie, handicap, grossesse, interdit l'accès



Figure 1: Comment trier les déchets en microbiologie ?

aux salles de TP ne peuvent se former sans risque sanitaire. Le constat actuel est que les étudiants disposent d'explications en séances, d'un accès à des vidéos mais doivent toujours être contrôlés lors du tri des déchets dans les salles TP (cf. Fig. 1). De même les étudiants non francophones ou encore les personnes en recherche de qualification (VAE par exemple) ont des difficultés pour se familiariser avec le vocabulaire et les pratiques de tri.

Afin de répondre à cette problématique, un jeu sérieux sur le tri des déchets produits lors de ces TP a été conçu, réalisé et évalué par une équipe pluridisciplinaire (Fig. 2). Ce jeu sérieux se déroule dans des salles banalisées, en dehors des laboratoires, offrant ainsi une souplesse d'accès et évitant le contact avec les micro-organismes. Il présente l'avantage de manipuler les mêmes objets qu'en TP (pipettes, flacons, etc.) permettant d'identifier les différents matériaux nécessaire au tri) et de mettre en situation les étudiants. Ainsi, les personnes ayant un avis médical interdisant l'accès aux salles de TP peuvent tout de même s'exercer avec des objets réels. Enfin, l'ensemble des étudiants peut s'entraîner avant de venir au laboratoire et être plus efficace lors des séances de TP. Ce jeu sérieux fonctionnant sur table interactive à interaction tangible, ainsi qu'une étude exploratoire avec un panel d'étudiants et d'experts en microbiologie, sont décrits dans cet article. La structure de cet article est la suivante. Après cette introduction, un état de l'art porte sur les jeux sérieux sur table interactive avec objets tangibles. Dans la partie suivante de l'article, le jeu sérieux est présenté et illustré, de même que les objets tangibles exploités, la technologie de capture des objets munis de tags étant la RFID (*radio frequency identification* [8, 21]). Ensuite, le protocole d'évaluation du système, de même que les premiers résultats obtenus (à l'aide de questionnaires remplis *a priori* et *a posteriori* par les sujets) ainsi que l'évaluation du dispositif de jeu sérieux et son gameplay sont présentés. Une discussion, une conclusion et différentes perspectives de recherche terminent cet article.

2 ÉTAT DE L'ART

Aujourd'hui, si le jeu sérieux est surtout représenté par sa catégorie vidéoludique, nous ne perdons pas de vue les travaux de

Clark C. Abt [1] où toutes les formes de jeux sont convoquées : jeux de société, de plein air, de rôle et jeux sur ordinateur. Grâce à la technologie et au numérique des hybridations s'opèrent désormais entre ces différentes formes de jeux.



Figure 2: Jeu sérieux de tri des déchets en cours d'utilisation

Ainsi en 2007, la société française Numicom lance un concept de jeu de plateau appelé Majook. L'idée est d'enrichir l'expérience du jeu de société en faisant usage d'objets tangibles. Ainsi, le plateau de jeu et les pions que l'on déplace sont reconnus par l'ordinateur via une liaison WIFI. Une telle configuration permet un arbitrage et une gestion informatique du jeu : distribution automatique des gains, gestion du score, élimination impartiale des joueurs ayant perdu, etc. Plus récemment, d'autres studios ont exploré l'association d'objets tangibles à du jeu de société à l'instar des réalisations produites par des studios telles les éditions volumiques¹ ou bien ePawn².

L'évolution des approches proposées ici réside dans le remplacement du plateau de jeu par une tablette, ou une table interactive sur lesquelles viennent interagir les objets connectés. Ainsi, le plateau de jeu peut se modifier en temps réel en fonction des feedbacks à opérer ou des besoins du scénario : par exemple afficher des explosions sous le pion d'un des joueurs ou bien modifier la configuration d'un labyrinthe aléatoirement toutes les 30 secondes.

¹ <http://volumique.com/v2/>

² <http://www.epawn.fr/>



Figure 3: Hutnet Island [3]

Si les exemples donnés sont liés au divertissement, il existe des studios de création qui ont exploré l'utilisation d'objets tangibles pour des besoins liés aux jeux sérieux. C'est par exemple le cas de la société Donuts qui en 2009, a proposé d'apprendre aux enfants à compter avec des chiffres en bois équipés de puces RFID que l'on dépose sur une ardoise. L'ordinateur reconnaît ainsi les réponses de l'enfant et affiche en retour le résultat. En 2009, un jeu sérieux, jouable sur une table interactive tactile multipoint, a été réalisé en relation avec Orange Labs : Hunet Island [3]. Si les exemples des chiffres en bois connectés pour apprendre à compter de la société Donut et l'aspect collaboratif d'Hunet Island d'Orange Labs sont intéressants, il manque cependant la connexion entre les deux approches visant à associer objets tangibles et table interactive pour du jeu sérieux. De nos jours, nous trouvons encore ce clivage avec par exemple la société Dymension qui propose des jeux éducatifs sur table interactive mais sans proposer d'objets connectés. Or faire le lien entre la dimension tangible et table interactive nous semble être une piste à explorer pour étudier si cela permet de favoriser les apprentissages comme nous l'exposent par exemple Kubicki et ses collègues dans le cadre d'une étude comparative préparatoire entre le jeu des tours en version traditionnelle comparée à sa version transposée sur table interactive avec objets tangibles [13], ou bien encore dans le cadre d'une application d'apprentissage et reconnaissance des couleurs évaluée en école maternelle [14, 20].

3 PROPOSITION DE JEU SÉRIEUX : TRI DES DÉCHETS EN MICROBIOLOGIE

Afin de réaliser ce jeu, nous avons adopté une approche de conception centrée sur l'utilisateur au sein d'un cycle itératif.

3.1 Analyse des besoins

Dans le département des Sciences de la Vie et de la Nature (SVN) de l'ULCO, la microbiologie est enseignée dans quasiment toutes les formations de Bac +1 à Bac +5. A chaque niveau se trouve un public d'étudiants ayant suivi des parcours d'étude différents en France ou à l'étranger. Des personnes devenues expertes en microbiologie sont mélangées à des personnes débutantes. De plus, depuis de nombreuses années, sont accueillis des étudiants internationaux non francophones pour lesquels le vocabulaire spécifique à la matière n'est pas facilement accessible lors de leur apprentissage du français, ce qui constitue un frein à la réussite de

leurs études en France. Par ailleurs, pour des raisons de santé (handicap, maladie grave, grossesse, etc.), il est parfois difficile voire impossible pour certains étudiants d'assister aux séances de travaux pratiques avec objets potentiellement dangereux (car contaminés). Dans un autre contexte, des personnes en formation continue qui souhaitent bénéficier de formations professionnalisantes (Validation d'Acquis d'Expérience par exemple) ont besoin d'une mise à niveau en microbiologie générale dans laquelle ne sont pas forcément prévus des travaux pratiques. De façon générale, les TP n'intègrent pas assez les méthodes préconisées par les organismes certificateurs de laboratoires auxquelles les étudiants seront confrontés dans leur vie professionnelle. Enfin, depuis plusieurs années, les politiques budgétaires ont eu pour conséquence une perte massive d'heures d'enseignement. Plusieurs problématiques se dégagent donc :

- l'hétérogénéité du niveau scientifique
- l'accessibilité aux travaux pratiques avec d'une part, la maîtrise du vocabulaire spécifique et de son utilisation puis d'autre part, la validation des compétences pour les personnes ne pouvant venir en salle de TP pour des raisons de santé ou de statut.
- le manque de prise en compte dans les TP des démarches « qualité » en vigueur dans les laboratoires certifiés.
- le maintien d'un niveau correct de formation en réponse à la diminution des heures d'enseignement.
- la prise en compte des différents modes d'apprentissage des étudiants.

Le besoin de construire un jeu autour du tri des déchets en laboratoire de microbiologie s'est dégagé. Ce tri est une compétence d'hygiène et de sécurité que doivent absolument maîtriser rapidement les étudiants tant au sein de l'université que pour leur future profession : ils doivent être capables de distinguer les différents types de déchets (ménagers, biologiques, chimiques, en verre, etc.) de façon à les jeter dans les poubelles adéquates. Dans le contexte d'un nombre d'heures de TP limité et de budget de fonctionnement restreint, c'est un point qui fait perdre beaucoup de temps aux enseignements au détriment des expérimentations proprement dites et qui entraîne des dépenses superflues en cas de mauvais tris et un risque de contamination chimique/bactériologique. Le jeu sérieux présente différents avantages qui répondent aux problématiques susmentionnées. L'apprentissage délocalisé dans une salle banalisée résout le problème d'accessibilité aux laboratoires d'une part en éliminant les risques d'hygiène et de sécurité propres à ces activités et d'autre part en offrant plus de souplesse organisationnelle. Aucune préparation de laboratoire n'est nécessaire pour mener à bien cette activité spécifique au tri ce qui permet des économies de consommables ; les étudiants sont mis en situation sans danger et apprennent en jouant. Nous sommes allés observer une session de Travaux Pratiques, en particulier les étudiants et la disposition des différents éléments : paillasse de travail, réceptacles de matériel à trier, posture des étudiants. Les différents réceptacles pour matériel de travail ainsi que les catégories de risques, en particulier de contamination biologique, qui y sont associées sont présentés dans le Tableau 1. L'observation du TP ainsi que la

discussion avec les enseignants nous ont permis de réaliser un modèle de tâches (formalisme KMAD [5]) pour l'objectif Trier le matériel, cf. Fig 4.

Grâce à la modélisation de la tâche Trier le matériel, on peut noter différentes informations importantes : (1) Le tri du matériel nécessite un enseignement théorique au préalable (voir les tâches élémentaires de reconnaissances dans le modèle), (2)

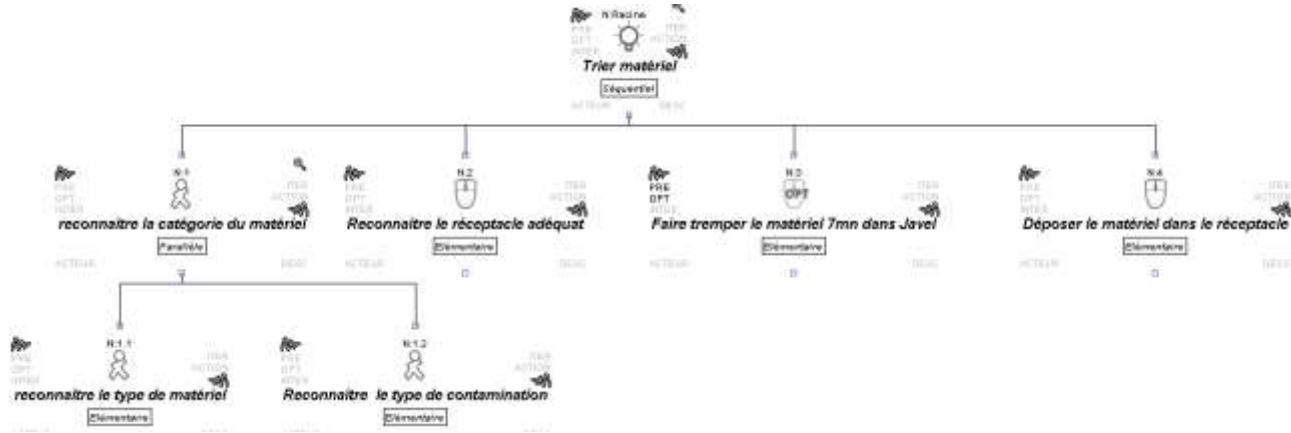


Figure 4: Modélisation de la tâche « Trier le matériel »

La procédure de tri est la même pour tout le matériel excepté pour la pipette contaminée qui nécessite une action supplémentaire (tâche optionnelle avec pré-condition que le matériel soit une pipette en verre contaminée), (3) Une fois le matériel trié, plus aucune information n'est fournie : l'apprenant est dans l'incapacité de savoir si son tri est correct ou non et si ce n'est pas le cas, pourquoi et quelles conséquences l'erreur peut avoir. C'est un inconvénient qui se situe au niveau évaluation de l'action selon le cycle de l'action de Norman [18].

3.2 Spécification et Gamification

Afin de garder l'aspect "manipulation", important dans ce domaine, nous avons décidé d'exploiter le matériel utilisé par les apprenants afin de simuler au mieux la réalité. En effet, le matériau utilisé change le tri ainsi que la substance qu'il contient. Par exemple, les pipettes plastiques ou verres ne doivent pas aller dans les mêmes réceptacles de même pour les tubes à essai contenant des substances solides ou liquides. Pour reconnaître le matériau, nous avons constaté que les manipulateurs tapotent sur la pipette pour reconnaître en fonction du bruit le matériau. Nous supposons qu'à ce niveau d'apprentissage le type de matériel est reconnu par l'apprenant. S'agissant d'une simulation, il sera moins aisé pour l'apprenant de savoir si le matériel qu'il a en main est supposé être contaminé ou non. Nous aurons donc besoin d'un élément permettant, optionnellement, d'indiquer cette information (voir Reconnaitre le type de contamination dans le modèle des tâches). Le cœur du problème présenté par l'ULCO correspondant à la tâche élémentaire Reconnaitre le réceptacle adéquat, l'application, ludique, sera centrée sur ce point.

L'objectif étant de réussir à identifier le réceptacle adéquat au matériel et son éventuelle contamination, nous optons pour un principe de jeu simple consistant à associer le bon objet au bon réceptacle dans un temps imparti. Dans notre cas, les réceptacles apparaîtront sur l'écran de la table interactive, aléatoirement en termes de position et de catégorie, dans une grille. L'apprenant devra placer le matériel adéquat sur le réceptacle apparaissant, tel que montré en Fig. 5.



Figure 5: Le matériel (réel) est posé sur les réceptacles (virtuels) apparaissant dans la grille.

Table 1: Liste du matériel et des réceptacles (en gras : les objets utilisés dans le jeu sérieux)

Type d'objet	Risque	Réceptacle
Tube à essai, contenu liquide	Biologique	Panier autoclave pour conteneur de liquide
Tube à essai, contenu solide	Biologique	Panier autoclave pour conteneur de solide
Flacons ensemencés	Biologique	Panier pour flacons contaminés
Flacons de milieu vierge vidé		Panier pour flacons vides
Pipette pasteur (verre) et 1ml (plastique)	Biologique	Javel + Réceptacle pour pipettes et verre contaminé brisé
Objets piquants ou coupants (Lame colorée)	Physique	Réceptacle pour objets piquants ou coupants
Verre brisé propre	Physique	Poubelle recyclage
Verre brisé utilisé	Biologique	Réceptacle pour pipettes et verre contaminé brisé
Élément jetable sans risque (essuie-tout, emballage de pipette)	Economique	Poubelle de déchets ménagers
Élément jetable avec risque	Biologique	Réceptacle pour déchets potentiellement dangereux
Boîte de Petri	Biologique	Réceptacle pour boîte de Petri
Reactifs chimiques, colorants	Chimique	Bidon pour liquide organique

Afin de répondre au besoin d'informations sur le type de contamination, un outil d'aide, sous forme de microscope, est présent. L'apprenant peut y déposer son matériel afin d'avoir une information sur le danger présenté : bactériologique, chimique, coupant ou aucun. Enfin, un espace "Javel" permet de simuler le passage préalable des pipettes dans un flacon d'eau de Javel, comme cela doit être fait dans la réalité (voir l'interface graphique de l'application, Fig. 5 sur la partie de gauche de haut en bas : espace javel avec la croix et le bocal, l'écran d'affichage puis le microscope donnant des indications). Le jeu est paramétrable : il est possible d'ajouter/ retirer des réceptacles, d'augmenter ou de réduire la taille de la grille contenant les réceptacles. Le nombre de cases de la grille correspond au nombre d'objets à trier (1 objet par case maximum). On ne peut placer l'objet qu'une fois dans une partie.

Une partie couvre donc l'ensemble des objets à trier. Quand la partie est lancée, une case affiche un réceptacle (celui-ci est sélectionné aléatoirement dans la liste totale des réceptacles) pour un temps donné. Si l'utilisateur pose l'objet dans la case et que l'objet correspond au réceptacle, une coche verte s'affiche dans la case et le score s'incrémente, sinon c'est une croix rouge (cf. Fig 5). Si le temps est écoulé avant que l'utilisateur n'ait posé d'objet le réceptacle n'est plus affiché. Une autre case parmi les cases encore disponible prend le tour avec un réceptacle toujours choisi dans la liste. Pour l'étude, nous avons sélectionné huit objets et les réceptacles associés (cf. Tableau 1). Ces objets ont été utilisés auparavant lors d'un TP. La sélection aléatoire sur l'ensemble total des réceptacles a été faite afin ne pas aider l'utilisateur et donc biaiser la comparaison avec les questionnaires qui montrent toujours l'ensemble des possibilités.

3.3 Solution technique et développement

Le jeu sérieux a été développé en java sur une table interactive ayant la particularité de proposer uniquement des interactions tangibles. Cette table interactive nommée TangiSense permet de détecter des objets intégrant un ou plusieurs tag(s) RFID sur un écran. L'architecture logicielle est décrite dans [21], une

description de la version utilisée avec l'écran haute définition étant disponible dans [10]. TangiSense permet donc d'immerger l'utilisateur dans un univers fictif (sans risque de contamination) manipulant des objets réels tangibles sur un écran ayant un affichage haute définition. Le dispositif est considéré comme un jeu sérieux pour plusieurs raisons. Tout d'abord, le dispositif propose de manière aléatoire les différents réceptacles. En effet, ceux-ci apparaissent de manière aléatoire avec un rythme qui s'accélère avec le temps. Ensuite, il y a la notion de score. Enfin, nous identifions le fait de gagner ou de perdre dans le jeu par des feedbacks : une croix rouge avec la case devenant grise et un tic vert en cas de bon choix. Selon le modèle Briques Gameplay, la structure de ce Serious Game est de type : ATTEINDRE + EVITER + CHOISIR + DEPLACER

4 ETUDE EXPLORATOIRE

Le but de l'étude exploratoire présentée dans cet article est de comprendre la contribution du jeu sérieux au tri des déchets en microbiologie utilisant une table interactive et des objets tangibles. L'hypothèse qui sera traitée dans cette étude est : « L'utilisation de la table permet d'améliorer à court terme le tri des déchets ». Pour évaluer cette amélioration, nous avons fait remplir le même questionnaire avant et après le passage sur la table. Les questions étaient formulées de la même façon : « Dans quelle poubelle placeriez-vous cet objet : Pipette 1ml ? » suivi d'une liste de case à cocher avec le nom de l'ensemble des réceptacles. Nous avons donc collecté (1) des résultats issus de questionnaires (avant et après) afin de montrer l'impact direct de l'utilisation de la table sur le tri des déchets, (2) des résultats issus de questionnaires subjectifs afin de collecter l'opinion des participants sur le jeu sérieux, son gameplay et (3) la satisfaction de l'utilisation d'un jeu pour le tri des déchets.

4.1 Protocole et participants

23 personnes, âge moyen 28 ans, ont participé à l'étude. Ces participants étaient de niveaux divers. Nous pouvons les classer en

deux ensembles, les novices (16, étudiants en microbiologie) et les experts (7, enseignants-chercheurs et personnel technique). Il est difficile d'associer directement le niveau d'étude au niveau d'expérience car cela dépend du type de bac et de parcours en études supérieures. Les participants ont entre 20 et 52 ans. Chaque participant avait pour objectif d'utiliser le jeu sérieux (jusqu'à trois parties) afin de trier un ensemble d'objets prédéterminé. Les objets avaient été manipulés en TP la semaine précédente et étaient donc bien connus des participants « novices ». Les objets utilisés dans l'étude couvraient un ensemble de réceptacles et certains devaient également être positionnés dans le pot d'eau de Javel au préalable. La liste des objets et leurs réceptacles (poubelles) associés, pris en compte dans le jeu sérieux, est présentée dans le Tableau 1 (éléments en gras). La Figure 6 montre les différentes étapes du protocole. Le scénario a été le même pour tous les participants. Dans un premier temps, chaque participant a répondu à un ensemble de questions dans une salle dédiée. Ensuite dans la salle de l'expérimentation, le participant voit la table interactive disposée à quelques mètres. Avant de pouvoir jouer, il/elle est informé(e) sur la composition et le fonctionnement de l'application via des diapositives, qu'il/elle peut regarder librement, présentant les objets, les réceptacles, le pot d'eau de Javel ainsi que les règles du jeu. Afin de ne pas influencer les participants, il n'y a pas d'échange oral à ce moment.

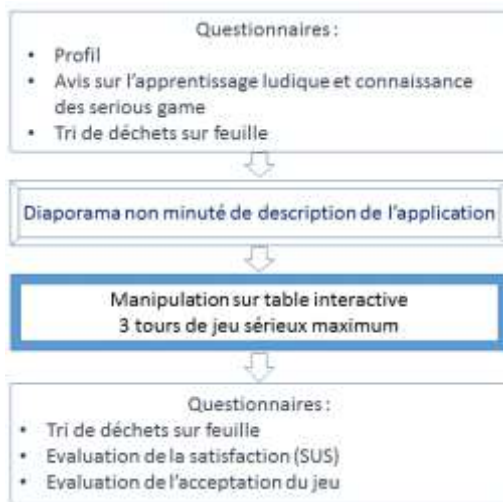


Figure 6: Protocole

Quand le participant juge avoir reçu assez d'informations, il peut alors se diriger vers la table interactive et est invité à jouer une partie. Il peut à la fin de la partie décider d'en refaire une (jusque 3 maximum). Si le participant est observé durant la partie, aucun médiateur ne vient l'aider ou animer le jeu. Le participant doit donc se débrouiller seul face au dispositif de jeu sérieux. Enfin, lorsque la partie est terminée, le participant retourne dans la salle dédiée afin de répondre aux questionnaires finaux. Parmi les questionnaires finaux, on retrouve d'abord le même questionnaire

que le questionnaire préliminaire ce qui permet une comparaison entre les réponses de tri avant et après les parties de jeu sur la table interactive. Ces deux questionnaires associés permettent de voir si les sujets ont amélioré (ou détérioré) leur tri après le passage sur le jeu. Un second questionnaire est un questionnaire de satisfaction (SUS). Enfin, un troisième questionnaire spécifique interroge sur l'utilisabilité globale du jeu. L'analyse des questionnaires a permis de montrer un ensemble de résultats présentés dans la section ci-dessous.

4.2 Résultats

Dans cette section, nous donnons un aperçu global des résultats obtenus : analyse SUS, impact du jeu sérieux sur le tri, évaluation du dispositif de jeu sérieux et de son gameplay.

4.2.1 *SUS*. Une estimation subjective globale de l'utilisabilité du jeu sérieux a été mesurée avec un questionnaire utilisant le *System Usability Scale* (SUS [6]). SUS offre un principe de mesure considéré maintenant comme un standard, provenant de la littérature en utilisabilité. Il a été utilisé dans des centaines d'études publiées en utilisabilité [4]. SUS comporte 10 questions. Pour éviter les biais, ces questions alternent entre énoncés positifs et négatifs concernant le système évalué. Dans ce questionnaire, une échelle de Likert en 5 points allant de Pas du tout d'accord (traduit de *Strongly disagree*) à Tout à fait d'accord (traduit de *Strongly agree*) est utilisée pour la mesure. Le résultat fourni va de 0 à 100. Un score au-dessus de 68 est considéré comme au-dessus de la moyenne, et vice versa [22]. Les scores SUS ont été calculés pour les 23 participants, tout en distinguant chaque profil (experts, étudiants). Les résultats sont fournis en Tableau 2. Comme résumé dans ce tableau, le score SUS moyen est de 71,1, la médiane est 80, le maximum est 97,5 et le minimum est 45. La moyenne des scores des 16 étudiants (74,7), qui sont les utilisateurs finaux du jeu sérieux, est meilleure que celle des experts (71,1). Ces scores sont prometteurs. Ils suggèrent que le jeu sérieux satisfait *globalement* les sujets (surtout les utilisateurs finaux), qui le considèrent plutôt facile à utiliser.

Table 2 : Statistiques descriptives en lien avec la mesure SUS

Participants	Experts	Etudiants	Total
Nombre de Participants	7	16	23
Moyenne	71,1	74,7	73,6
Médiane	67,5	80	80
Valeur Minimale	45	50	45
Valeur Maximale	97,5	97,5	97,5
Ecart type	22,3	14,4	16,7

4.2.2 *Impact du jeu sérieux sur le tri*. Afin d'analyser l'impact sur le tri de l'utilisation du jeu sérieux, les 23 participants ont rempli un questionnaire avant et après le passage sur le jeu sérieux. Le questionnaire demandait « Dans quelle(s) poubelle(s) placeriez-vous cet objet » suivi du nom de l'objet. Une liste à cocher présentait l'ensemble des réceptacles sélectionnés (cf. Tableau 1

éléments en gras) ainsi que le pot d'eau de Javel. Pour chaque objet, nous attendons une réponse et une seule. Toute autre réponse donnée est considérée comme une erreur. Nous avons calculé le nombre d'erreurs pour chaque participant avant et après le passage sur la table interactive. La Figure 7 montre principalement qu'il y a une amélioration dans les réponses au questionnaire de connaissance suite au passage sur table interactive. Le nombre total d'erreurs passe de 79 à 55 pour les 23 participants. On note que le score des experts ne semble pas significativement meilleur que celui des étudiants. Ceci s'explique par le fait que parmi les experts, certains venaient d'un autre institut qui n'a pas tout à fait les mêmes pratiques en termes de gestion du tri. L'objectif du jeu étant focalisé sur les pratiques de l'institut ayant participé à la conception, ces participants, alors qu'ils avaient connaissance des différences, ont rempli les questionnaires conformément à leurs habitudes. Par ailleurs certains étudiants ont une pratique en TP qui leur donne un niveau similaire aux experts. Ceci n'est pas vrai pour la majorité des étudiants. L'écart-type moyen pour les étudiants est de 1,37 sur les réponses données avant et 1,10 pour les réponses données après (sur 8 objets à trier). Certains objets ne posent pas de problème (ni avant ni après) : essuie-tout, emballage de pipette (aucune erreur). La boîte de Petri, le flacon en verre et le tube de dilution posent quelques problèmes (3 erreurs pour la boîte de Petri sur les 23 participants, 4 erreurs pour les 23 participants pour le flacon en verre et 6 erreurs pour les 23 pour le tube de dilution). Ce sont principalement les objets nécessitant un trempage dans l'eau de Javel avant d'être déposés dans le réceptacle (pipette 1 ml et pipette Pasteur) qui posent le plus de problème.

4.2.3 Evaluation du jeu sérieux et de son gameplay. Cette dernière évaluation est focalisée sur le dispositif de jeu sérieux lui-même. L'objectif est de savoir si le panel *trouve* le jeu amusant (fun), pédagogique, original, bien adapté au public ciblé et ergonomique. La moyenne de ces cinq items donne une note globale à notre jeu sérieux. Afin d'attribuer une note pour chacun des cinq items, nous avons soumis un questionnaire composé de 16 questions à notre panel : (1) Le jeu s'adresse bien à un public comme vous. (2) Le jeu vous permet de vous amuser. (3) Le jeu vous permet d'apprendre. (4) Le jeu vous propose une approche originale du tri des déchets. (5) Les objectifs du jeu vous semblent clairs. (6) Les règles sont adaptées à un utilisateur tel que vous. (7) Quelqu'un qui découvre ce jeu pour la 1ère fois peut facilement y jouer et assimiler les règles. (8) Ce jeu prend en compte les personnes présentant des déficiences (surdité, dys, mauvaise vue, etc.). (9) Ce jeu propose des aspects techniques innovants. (10) Les illustrations du jeu vous semblent de bonne qualité. (11) Le jeu est amusant / fun. (12) La difficulté de jeu est équilibrée pour vous. (13) Le système de score du jeu reflète bien les performances du joueur. (14) Le jeu propose un contenu riche. (15) Lorsque le jeu est fini, j'ai envie d'y rejouer. (16) Vous recommanderiez ce jeu à d'autres personnes. Ces 16 questions ont été déduites d'une grille d'évaluation de jeu sérieux décrites dans [3]. Ces 16 questions sont associées à une échelle de Lickert que

nous avons basée sur une graduation en 4 points allant de Pas de tout d'accord (traduit de *Strongly disagree*) à Tout à fait d'accord (traduit de *Strongly agree*). 0 correspond à « Pas de tout d'accord » et 3 « Tout à fait d'accord ». Nous obtenons ainsi des notes allant de 0 à 3 pour chaque réponse. La médiane est 1,5. En-dessous, la réponse est considérée comme négative, au-dessus comme positive. Les calculs pour évaluer les 5 items sont obtenus en effectuant les moyennes des questions suivantes : Moyenne fun (Q2, Q11, Q15) = 1,93, Moyenne Pédagogique (Q1, Q3, Q13, Q14) = 2,24, Moyenne Originalité (Q4, Q9) = 2,54, Moyenne Ciblage (Q1, Q6, Q16) = 2,42, Moyenne Ergonomie (Q5, Q6, Q7, Q8, Q10, Q12) = 2,24, Moyenne globale = 2,24. Les données nous indiquent globalement que le jeu suscite plutôt l'adhésion des participants, que ces derniers trouvent le jeu pédagogique mais moyennement amusant. En revanche, le jeu est perçu comme vraiment original et innovant. Les participants trouvent que le jeu est adapté à la cible visée, à savoir les étudiants en microbiologie. Enfin, le jeu offre une prise en main et des feedbacks adaptés. Soulignons cependant que la question de l'accessibilité n'a pas été prise en compte dans cette étude.

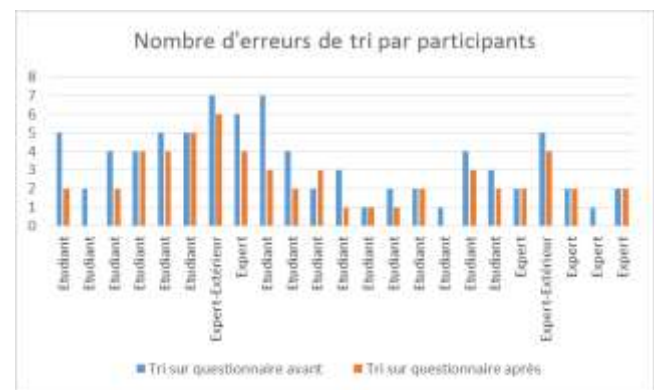


Figure 7: Nombre d'erreurs dans les questionnaires avant et après le passage sur le jeu sérieux

5 DISCUSSION

L'évaluation du jeu sérieux a donné des résultats prometteurs, d'après le *System Usability Scale* (SUS), l'analyse des erreurs commises avant et après le jeu, et l'évaluation du dispositif de jeu et de son gameplay. Il semble toutefois que l'espace Javel avec son bocal (exprimant le fait que certains objets doivent être décontaminés à l'aide d'un bocal de Javel avant d'être placés dans des réceptacles) ait entraîné des difficultés pour un ensemble de sujets : ils ont occulté ou mal utilisé cet espace Javel. Ceci explique que pour les objets ayant recours à la Javel il n'y a pas eu d'amélioration dans les questionnaires alors que pour les autres objets, on a pu constater une meilleure progression (réduction des erreurs de tri des déchets). Il serait nécessaire de mieux matérialiser la relation Javel avec l'objet. Une tentative était de proposer l'élément virtuel ressemblant à un microscope qui affiche des informations sur la contamination mais le lien avec la

Javel n'est pas systématique. Selon le matériau utilisé pour la pipette, il est nécessaire ou interdit d'utiliser la Javel. Nous envisageons d'avoir un meilleur feedback pour mieux guider cette étape sensible [10]. Un autre point a été mis en évidence durant l'évaluation. Trois experts provenaient d'un institut dans lequel la méthode de tri ne correspondait pas exactement avec celle des experts avec lesquels l'équipe de conception du jeu sérieux avait travaillé. Ces 3 experts n'étaient pas dans un état d'esprit d'apprentissage ou d'adaptation à un nouveau laboratoire mais sont restés sur le mode de fonctionnement propre à leur laboratoire. Pour des raisons de coût, les participants à la conception utilisent plus souvent le nettoyage des objets alors que dans l'autre institut, ils « jettent » plus facilement le matériel contaminé (par exemple, les pipettes sont jetés dans le même réceptacle que les Boite de Petri alors que nous avons prévu une décontaminations à l'eau de javel avant un nettoyage en autoclave). Il y a eu en conséquence des résultats moins bons que pour les autres experts en termes d'erreurs commises et de satisfaction.

En réponse aux problématiques (partie 3.1), cette expérimentation a montré que ce jeu pouvait être considéré comme un outil pédagogique complémentaire aux méthodes traditionnelles (information en cours magistral, suivi en travaux pratiques, vidéos, etc.). Tout d'abord, il nous semble qu'introduit différemment, il permettrait de faire comprendre les règles de tri en vigueur dans le laboratoire. La table interactive permet d'utiliser des objets réels (avec les matériaux semblables à ceux des manipulations) sans risque (utilisation de leurres) manipulés en TP, donc d'une part de s'y familiariser d'autre part de se tromper en les triant et de recommencer de façon ludique. L'écart entre les apprenants novices et experts peut ainsi se réduire considérablement ce qui entraîne inmanquablement pour les premiers une meilleure confiance en eux. Cet aspect a d'ailleurs été signalé par les étudiants en Commission Pédagogique Paritaire (enseignants / représentants d'étudiants). Pour l'enseignant, outre une gestion de groupe facilitée, le gain de temps à ne pas revenir sans cesse sur ces règles de tri est loin d'être négligeable. Par ailleurs, l'impact de la tangibilité sur la cognition est développé par [7] cité dans [14]. Cet article démontre que les utilisateurs construisent leur image mentale du monde, à travers l'action et les réponses motrices. La manipulation physique permet aux utilisateurs de devenir conscients de la réalité et de renforcer la notion d'apprentissage. De plus, [25] ont proposé une application sur table interactive dans un domaine proche de notre expérimentation : l'apprentissage de la biologie avec « G-Nome Surfer ». Cette étude démontre les avantages des tables interactives dans le processus d'apprentissage par rapport aux interfaces graphiques (GUI) traditionnelles. L'aspect virtuel de l'« exercice » présente d'autres intérêts. Grâce à ce jeu, l'enseignant est dorénavant en mesure de proposer un moyen d'acquérir et de valider des compétences aux personnes interdites d'accès aux laboratoires pour des raisons de santé ou parce qu'elles n'ont pas de TP prévus dans leur formation (cas de certaines VAE). La localisation dans une salle banalisée évite également les soucis de disponibilité des laboratoires et d'accès contrôlé. Pour tous les

apprenants, en cas d'erreurs de tri, il n'y a pas de conséquences néfastes en termes d'hygiène et de sécurité pour eux-mêmes et le personnel, et de coût de traitement des déchets ; le temps des personnels techniques passé à retrier les déchets est ainsi épargné et ce sont des volumes corrects de déchets à traitements particuliers comme les réceptacles à Boite de Petri ou les produits chimiques qui peuvent être facturés.

L'avantage des objets utilisés sur la table ne comporte pas de risque de contamination. L'inconvénient en conséquence de cette forme d'apprentissage est qu'elle ne suscite pas les attitudes attendues correspondant à la confrontation au risque biologique réel : on ne manipule pas de la même manière des objets sans risque vs. contaminés (avec risque). Dans le jeu, la seule tâche est de trier les déchets dans un seul moment, alors que dans le cadre des TPs, le tri s'effectue en parallèle avec d'autres tâches tout au long des manipulations microbiologiques. Une remarque recensée est l'envie de jouer en groupe. Dans de précédents travaux, nous avons en effet noté cette correspondance entre rejouabilité et multijoueur [3]. C'est donc une piste à privilégier. Nous notons également des suggestions nous invitant à rajouter des bruitages, des animations, des niveaux avec une progression dans la difficulté de jeu que l'on retrouve dans la plupart des jeux et qui en font tout le sens. A cela se rajoute une critique répétée du système de score. Sa logique n'est pas bien comprise des participants qui ne voient pas de liens clairs entre feedbacks et la perte ou le gain de points. Il est à améliorer. Dans le cadre de l'expérimentation, certains étudiants ne comprenaient pas toujours leur erreur. Les expérimentateurs ne devaient pas intervenir mais dans le cas d'une utilisation réelle du système dans un but pédagogique, les techniciens seraient disponibles pour expliquer les erreurs comme en séance de TP. Le jeu pourrait également être complété par un algorithme d'analyse des erreurs permettant de diffuser des vidéos explicatives.

6 CONCLUSION

La combinaison des technologies liées à l'interaction tangible avec des principes de gamification, issus du domaine des jeux sérieux, permet de proposer de nouveaux systèmes interactifs. Une telle approche a été suivie pour la conception, la réalisation et l'évaluation d'un jeu sérieux sur table interactive pour le domaine de la microbiologie. Cette application provient de besoins en formation (TP de microbiologie dans un cadre académique), dans un domaine sensible puisque les personnes concernées doivent manipuler et trier du matériel pouvant être contaminé. Le jeu sérieux a été évalué avec des experts et des novices (étudiants ayant à maîtriser le tri de matériels en fonction de leur risque physique, chimique ou biologique). Les premiers résultats obtenus sont prometteurs, montrant une facilité de prise en main du système et un bon niveau de satisfaction. Les retours des sujets permettent de mettre en évidence différents points d'amélioration du système (utilisation de l'espace Javel, principes d'incrémentation des points, gameplay du jeu). Parmi les perspectives de recherche, notons que les expérimentations ont été observées en direct par deux évaluateurs qui ont participé à la

conception du système. Ceux-ci ne sont pas experts en microbiologie mais des vidéos ont été faites et une confrontation avec des experts est envisagée afin d'assurer que le nouveau système est performant. Nous avons fait le choix dans un premier temps d'évaluer cette plateforme de manière indépendante. Dans un premier temps, nous prévoyons en perspective d'analyser des vidéos des TPs précédents et suivants l'expérimentation pour une approche plus longitudinale en plus des questionnaires. Une journée d'écart entre ces différentes étapes a été instaurée. Dans un second temps, une perspective serait de comparer les apports de ce jeu avec les ressources numériques existantes constituées de vidéos et d'exercices interactifs développés avec Scenarii même si elles sont prévues pour être complémentaires et non pas concurrentes. Il s'agit également de procéder à des évaluations sur une période plus longue. Nous envisageons d'analyser les stratégies des joueurs lors de l'utilisation de ce jeu sérieux associé à des interactions tangibles. Des captations vidéos et d'oculométrie, couplées à des observations et des entretiens semi-directifs seront mis en place pour éprouver le jeu et améliorer son gameplay afin d'obtenir une meilleure rejouabilité pour renforcer les apprentissages. La mise en œuvre d'autres scénarios est également envisagée.

ACKNOWLEDGMENTS

Les auteurs souhaitent remercier l'ensemble du personnel technique de l'ULCO, Solène Croquelois et Valerie Lencel qui ont participé à la conception, ainsi que les étudiants qui ont participé aux évaluations. Ils remercient également les relecteurs anonymes pour leurs remarques pertinentes.

REFERENCES

- [1] Clark C. Abt. 1970. *Serious Games*. Viking Press.
- [2] J. Alvarez. 2007. *Du jeu vidéo au serious game : approches culturelle, pragmatique et formelle*. Ph.D. Dissertation. Toulouse. Thèse de doctorat en science de l'information et de la communication.
- [3] J. Alvarez and V. Maffiolo. 2011. Etude de l'impact de communications électroniques basées sur le Serious game. *REE* 4 (2011), 67–96.
- [4] A. Bangor, P. Kortum, and J. Miller. 2003. Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale. *Journal of Usability Studies* 4 (2003), 114–123. Issue 3.
- [5] M. Baron, V. Lucquiaud, D. Autard, and D. L. Scapin. 2006. K-MADE : Un Environnement pour le Noyau du Modèle de description de L'activité. In *Proceedings of the 18th Conference on L'Interaction Homme-Machine (IHM '06)*. ACM, New York, NY, USA, 287–288.
- [6] J. Brooke. 1996. SUS: a quick and dirty usability scale. In *Usability Evaluation in Industry*, P.W. Jordan, B. Thomas, B.A. Weerdmeester, and I.L. McClelland (Eds.). Taylor and Francis, London, 189–194.
- [7] A. Burnett. 1962. Montessori education today and yesterday. *Elem School J* 63 (1962), 71–77. Issue 2.
- [8] K. Finkenzerler. 2003. *RFID handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards and identification*. Wiley, New York.
- [9] G.W. Fitzmaurice, H. Ishii, A. William, and S. Buxton. 1995. Bricks: laying the foundations for graspable user interfaces. In *Proc. CHI '95, Conference on Human factors in computing systems*. ACM Press, New York, USA, 442–449.
- [10] C. Havrez, S. Lepreux, Y. Lebrun, S. Haudegond, P. Ethuin, and C. Kolski. 2016. A Design Model for Tangible Interaction: Case Study in Waste Sorting. In *Symposium on Analysis, Design and Evaluation of Human-Machine System. IFAC/IFIP/IFORS/IEA, Kyoto, Japan*, 373–378.

- [11] H. Ishii and B. Ullmer. 1997. Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, New York, USA, 234–241.
- [12] H. Ishii and B. Ullmer. 2012. Tangible user interfaces. In *The Human-Computer Interaction Handbook*, J. Jacko (Ed.). CRC Press, 95–132.
- [13] S. Kubicki, D. Pasco, and I. Arnaud. 2014. Utilisation en classe d'un jeu sérieux sur table interactive avec objets tangibles pour favoriser l'activité des élèves : une évaluation comparative en cours préparatoire. *Revue STICEF* 21 (2014), 431–460.
- [14] S. Kubicki, M. Wolff, S. Lepreux, and C. Kolski. 2015. RFID interactive tabletop application with tangible objects: exploratory study to observe young children' behaviors. *Personal and Ubiquitous Computing* 19 (2015), 1259–1274. Issue 8.
- [15] S. Lepreux, J. Castet, N. Couture, E. Dubois, C. Kolski, S. Kubicki, V. Maquil, and G. Riviere. 2016. Interaction Tangible sur Table, définitions et modèles. *Journal d'Interaction Personne-Système* 5 (2016), 1–21.
- [16] S. Lepreux, J. Castet, N. Couture, E. Dubois, C. Kolski, S. Kubicki, V. Maquil, and G. Riviere. 2016. Interaction Tangible sur Table, un cadre fédérateur illustré. *JIPS* 5 (2016), 23–59.
- [17] P. Marshall, S Price, and Y Rogers. 2003. Conceptualising tangibles to support learning. In *Proceedings of the 2003 conference on Interaction design and children*. ACM, New York, USA, 101–109.
- [18] D.A. Norman. 1986. Cognitive engineering. In *User centred system design: new perspectives on human computer interaction*, D.A. Norman and S.W Draper (Eds.). Erlbaum, Hillsdale, NJ, 31–61.
- [19] S. Price and P. Marshall. 2013. Designing for learning with tangible technologies. In *Handbook of Design in Educational Technology*, R. Luckin, S. Puntambekar, P. Goodyear, B. Grabowski, J. Underwood, and N. Winters (Eds.). Routledge, New York, USA, Chapter 25, 288–300.
- [20] Kubicki S., Borgiel K., Lepreux S., Wolff M., and Kolski C. 2012. Réflexions autour des tables interactives : expérience utilisateur, utilisabilité, évaluation. *Le Travail Humain* 75 (2012), 229–252. Issue 3.
- [21] Kubicki S., Lepreux S., Lebrun Y., Dos santos P., Kolski C., and Caelen J. 2009. New Human-Computer Interactions Using Tangible Objects: Application on a Digital Tabletop with RFID Technology. In *Human- Computer Interaction, 13th International Conference, HCI International 2009 (San Diego, CA, USA, July 19-24, 2009)*, Proceedings, Part III, LNCS 5612, J.A. Jacko (Ed.). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 446–455.
- [22] J. Sauro. 2011. *A practical guide to the System Usability Scale: Background, benchmarks, and best practices*. CO: Measuring Usability LLC, Denver.
- [23] B. Schneider, P. Jermann, G Zufferey, and P. Dillenbourg. 2011. Benefits of a tangible interface for collaborative learning and interaction. *IEEE Transactions on Learning Technologies* 4 (2011), 222–232. Issue 3.
- [24] O. Shaer and E. Hornecker. 2010. Tangible user interfaces: Past, present and future directions. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction* 3 (2010), 1–138. Issue 1-2.
- [25] O. Shaer, M. Strait, C. Valdes, H. Wang, T. Feng, M. Lintz, M. Ferreira, C. Grote, K. Tempel, and S. Liu. 2012. The design, development, and deployment of a tabletop interface for collaborative exploration of genomic data. *Int J Hum Comput Stud* 70 (2012), 746–764. Issue 10.