



Un Serious Game pour le développement des compétences professionnelles des opérateurs en zone aseptique : définition d'un modèle holistique de conception et études d'usage

Maria Antonietta Denami

► To cite this version:

Maria Antonietta Denami. Un Serious Game pour le développement des compétences professionnelles des opérateurs en zone aseptique : définition d'un modèle holistique de conception et études d'usage. Education. Université de Strasbourg, 2016. Français. NNT : 2016STRAG025 . tel-01485121

HAL Id: tel-01485121

<https://theses.hal.science/tel-01485121>

Submitted on 8 Mar 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.

**ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES
PERSPECTIVES EUROPÉENNES ED 519**

LISEC EA 2310

Thèse présentée par :

Maria DENAMI

Soutenue le : **1 Décembre 2016**

Pour obtenir le grade de : **Docteur de l'Université de Strasbourg**

Discipline/ Spécialité : Sciences de l'Éducation

**Un Serious Game pour le développement des
compétences professionnelles des opérateurs en zone
aseptique.**

Définition d'un modèle holistique de conception et études d'usage.

THÈSE dirigée par :

M. Marquet Pascal

PU de Sciences de l'éducation, Université de
Strasbourg

RAPPORTEURS :

Mme Pascale Brandt-Pomares

PU de Sciences de l'éducation, Aix-Marseille
Université

M. Nicolas Szilas

MER de Technologie de l'éducation, Université de
Genève

AUTRES MEMBRES DU JURY :

Mme Annie Jézégou

PU de Sciences de l'éducation, Université Lille 1

M. Pascal Leroux

PU d'informatique, Ecole Nationale Supérieure
d'Ingénieurs du Mans

Remerciements :

Nombreux sont les événements qui m'ont poussée à entamer et finaliser cette thèse. Je peux affirmer qu'en trois ans cette aventure a été de plus en plus un *challenge*. Grandir, non seulement en tant que doctorante et *serious game designer*, mais aussi comme experte pédagogique, consultante de formation... commerciale (!) autant de situation que je n'avais jamais imaginées. Et pourtant celles-ci m'ont été offertes et en les saisissant j'ai pu grandir en tant que professionnelle, chercheuse et surtout, en tant que personne.

Aussi, pour toutes ces évolutions, je voudrais remercier sincèrement Pascal Marquet, mon directeur de thèse. De même, Je remercie chaleureusement la société WhiteQuest et son Président, Guillaume Ebelmann auxquels je dois la réalisation mon projet de recherche et l'enrichissement de ma formation professionnelle. Encore, je souhaite remercier les membres du jury qui ont accepté de lire, rapporter cette thèse et d'être présents le jour de la soutenance.

Nombreuses sont les personnes qui je voudrais remercier : elles ont partagé avec moi mes bureaux, mes déjeuners et dîners, mes moments d'inquiétudes et de joie. Elles m'ont fait des critiques douloureuses mais très utiles, elles ont corrigé mon français écrit et parlé, elles ont été à l'écoute de mes présentations « blanches » avant les conférences, relu mes articles, appris expressions « familiales » les plus colorées, et se sont proposées de m'enseigner des nouvelles choses. Point n'est besoin de les nommer car je suis sûre qu'elles se reconnaîtront elles-mêmes.

Je veux toutefois adresser des remerciements particulièrement appuyés à Brigitte. C'est elle qui, pour la première fois, m'a ouvert les yeux à la recherche et qui m'a tellement poussée à travailler, même lorsque mes activités n'étaient pas rétribuées. A Brigitte, qui me préparait les cafés lorsque entre conservatoire, fac, stages et travail, je me sentais fatiguée. A Brigitte qui m'a appris à ne jamais me contenter de ce que l'on a, mais d'aller toujours en profondeur dans tout ce que l'on fait. A Brigitte, qui m'a appris que la vie est parfois un enchaînement de compromis à faire pour répondre aux déceptions.

Merci Brigitte et merci tous mes AMIS, le moteur, le feu de la vie qui rendent tout plus doux avec la chaleur de leurs sourires. C'est grâce à vous qu'après trois ans de "plein de trucs", j'écris les remerciements de la première page de cette thèse.

Thanks to a very special colleague, researcher, the smarter and generous I ever knew in my all life. Thank to him for being to my side even when I thought I was getting crazy. He has been the one who made me breathe when I though I did not have enough air...

(E ovviamente, grazie MAMMA!)

Résumé – Abstract

Résumé. *Les Serious Games (SGs) sont des dispositifs de formation de plus en plus utilisés dans les différents secteurs de l'éducation initiale et continue. Dans le cadre de cette thèse, notre objectif est de concevoir, d'abord, et développer, ensuite, un SG pour la formation et l'évaluation des personnels travaillant en environnement aseptique. Nous présenterons dans ce travail de recherche les approches théoriques qui sont à l'origine de la démarche de conception. Nous en viendrons à la définition d'un modèle unitaire et holistique (PEGADE) qui décrit le processus collaboratif et optimal de conception des SGs et qui s'articule autour d'une nouvelle figure professionnelle, le Pedagogical Game Designer (PGD). Une étude de l'efficacité sera réalisée pour comprendre dans quelle mesure un développement des compétences via le SG est possible et quelle est sa plus-value par rapport aux méthodes traditionnelles de formation pour les mêmes matières. Nous proposerons également une évolution de la théorie du conflit instrumental sur laquelle cette thèse s'appuie qui sera à l'origine d'une nouvelle méthode d'analyse de l'utilisabilité des dispositifs d'apprentissage utilisant les technologies informatiques.*

Mots-clés: *Serious Game – Serious Game Design – Instructional Design – Simulation – Apprentissage par l'action – Gamification – Analyse des compétences – Évaluation des apprentissages – Conflit instrumental – TIC*

Abstract. *Serious games (SGs) are a very widespread training and evaluation device, employed in different sectors of school and adult education. In this study we aim to design and develop a SG for training and evaluating personals working in aseptic environment. We will present in this research the theoretical basis needed for that design process. We will define a holistic and united model (PEGADE), which describes the collaborative and optimal process to conceive SGs and which is constructed around a new professional figure, the Pedagogical Game Designer (PGD). A study of the effectiveness will be performed in order to understand how competences can be developed through the SG and which are the differences between this device if compared with traditional training used for similar purposes. We will propose as well an evolution of the instrumental conflict theory, which is one of the foundations of this thesis. That one will constitute the basic for a new method of usability test applied to every learning tool using ICTs.*

Keywords: *Serious Game – Serious Game Design – Instructional Design – Simulation – Learning by doing– Gamification – Competences Analysis – Evaluation of knowledge – Instrumental Conflicts – ICT*

Introduction

Cette thèse s'inscrit dans le cadre d'une CIFRE (Conventions Industrielles de Formation par la REcherche) entre le LISEC-Alsace et la société alsacienne WhiteQuest. En effet, la proposition innovante de la société WhiteQuest est de concevoir et de créer le *Serious Game*¹ LabQuest capable, d'une part, de former les opérateurs destinés à travailler dans les salles blanches des entreprises pharmaceutiques et, d'autre part, d'évaluer leurs compétences, en temps réel, dans un environnement virtuel proposant la réalisation des procédures qui font l'objet de l'apprentissage. De ce fait, la société WhiteQuest a souhaité compter dans son équipe une figure professionnelle, celle de l'expert pédagogique, personnifiée par la doctorante en question, afin d'assurer une méthodologie scientifique au travail de conception et de développement de son produit phare.

Le LISEC (Laboratoire Interuniversitaire de Sciences de l'Education et de la Communication) voit, dans ce parrainage, la possibilité de produire un travail de recherche en ligne avec l'une des thématiques les plus sensibles au sein de son équipe : les situations d'apprentissage *via* les TIC (Technologies de l'Information et de la Communication). Par ailleurs, l'objet de recherche de Pascal Marquet, directeur de cette thèse, ainsi que de son équipe, vise à comprendre, expliquer et éventuellement résoudre les phénomènes des difficultés d'usage des TIC dans les situations d'enseignement-apprentissage.

De ce fait, ce travail de thèse vise à la conception d'un outil de formation, sous forme de *Serious Game*. Cette conception nécessite un travail approfondi sur le choix et l'adaptation des contenus pédagogiques aux objectifs d'apprentissage, ainsi que l'analyse technique des supports informatiques à disposition. Le but étant d'harmoniser ces éléments et de concevoir un outil qui résolve les problématiques liées aux conflits instrumentaux qui perturbent, voire rendent impossible ces types d'apprentissages utilisant les technologies informatiques. Cette thèse fournira, ensuite, la possibilité de confirmer (ou d'infirmer) le nouveau modèle d'adaptation instrumentale proposé comme une évolution de la théorie du conflit instrumental.

Le lecteur rencontrera une pléthore de termes qui définiront les cibles sur lesquels nous focaliserons notre attention. En effet, en fonction des chapitres que nous allons aborder et des problématiques traitées, nous utiliserons des termes différents pour définir les personnes qui sont incluses dans les processus de conception ou d'utilisation du SG. Lorsqu'on abordera le thème de l'utilisation des technologies d'apprentissage et du SG *design*, nous parlerons d'*utilisateurs* et d'*apprenants*. Lorsqu'on traitera de l'analyse de l'activité de travail nous

¹ Dans cette thèse nous avons décidé d'adopter le terme anglais « *serious game* » au lieu de sa traduction

parlerons d'*employés, travailleurs, d'apprenants, d'opérateurs des entreprises pharmaceutiques*. C'est encore d'*opérateurs* et de *personnel de production* dont nous parlerons pour illustrer l'univers pharmaceutique. En revanche les termes de *sujet* ou d'*individu* seront utilisés lorsque nous présenterons la démarche expérimentale et les résultats de nos observations.

Une thèse CIFRE : de quoi s'agit-il ?

Le dispositif CIFRE est un contrat qui lie le laboratoire public de recherche, rattaché à une faculté, à une entreprise privée. L'objectif de ce partenariat est de développer la recherche partenariale publique-privée et de placer les doctorants dans des conditions d'emploi. Il repose sur l'association de quatre acteurs :

- l'entreprise, qui recrute en CDI ou CDD (articles D. 1242-3 & 6 du code du travail) un-e diplômé-e de niveau Master à qui elle confie une mission de recherche stratégique pour son développement socio-économique ;
- le laboratoire de recherche académique, qui encadre les travaux du doctorant-salarié inscrit dans l'école doctorale de rattachement ;
- le doctorant, qui consacre 100% de son temps (qui peut être partagé entre l'entreprise et le laboratoire académique) à ses travaux de recherche, et bénéficie d'une double formation académique et professionnelle ;
- l'ANRT (Association Régionale de la Recherche en de la Technologie) qui établit avec l'entreprise une Convention industrielle de formation par la recherche (CIFRE) sur la base de laquelle une subvention lui est versée. Les objectifs de la thèse s'inscrivent dans un double défi : industriel et scientifique.

Les objectifs : défis industriels et défis scientifiques

Comme nous l'avons expliqué, une thèse CIFRE consiste en un exercice particulier de la part du doctorant. Il s'agit, d'une part, de répondre à un défi industriel formulé par l'entreprise qui engage le doctorant pour la conception ou l'amélioration d'un produit et, d'autre part, de répondre à un défi scientifique du laboratoire de recherche qui exige que la collaboration fasse progresser la recherche.

Pour répondre à ces défis, nous avons travaillé activement à la conception de LabQuest en utilisant une démarche scientifique consistant en une recherche des méthodes déjà disponibles, mais également en nous appuyant sur l'éclairage de tous les concepts qui participent à cette conception. De plus, à l'issue de cette conception et suite au développement du logiciel, nous avons construit un protocole expérimental pour vérifier, *a posteriori*, que la démarche de conception utilisée a été pertinente pour le développement des compétences. Nous tenons

également à souligner que, vis-à-vis des enjeux purement scientifiques, nous avons exploité ce travail de recherche pour tester le modèle théorique d'adaptation instrumentale portant sur l'importance de concevoir des outils pédagogiques, en choisissant soigneusement tous les acteurs. Nous avons ensuite étudié le processus d'acquisition des connaissances et des compétences lors des situations d'apprentissage utilisant les technologies informatiques. Enfin, notre travail nous a permis d'étudier le rapport des apprenants à l'apprentissage qui, au travers du *serious game*, avait comme but le développement de leurs compétences.

Par ailleurs, le travail de conception du *serious game* LabQuest a aussi été caractérisé par un aller-retour constant entre une action pragmatique de conception du logiciel de simulation, sur la base des exigences de l'entreprise, et une recherche scientifique active des approches théoriques afin de diriger et justifier les choix qui ont été réalisés.

Organisation générale de la thèse

La partie théorique de cette thèse se montre assez dense dans son contenu. Il se trouve que, plusieurs et hétérogènes sont les profils de lecteurs qui pourraient être conduits à la lecture de cette contribution scientifique. Par exemple, le public d'informaticiens ainsi que les expert de l'éducation. Pour cette raison, nous avons voulu rendre le plus clairs possible tout concept pouvant appartenir à l'un ou à l'autre domaine.

A ce titre, nous avons choisi de clarifier notre démarche scientifique en proposant trois parties : théorique, pragmatique et empirique :

Dans la **partie théorique**, nous présenterons le contexte de la recherche et l'état de l'art de la littérature scientifique concernant les trois grands axes autour desquels ce travail de recherche s'articule.

- Chapitre 2 : « SG, simulation et apprentissage », dans lequel nous traiterons l'histoire et l'origine des SG ainsi que les approches pédagogiques indispensables pour réaliser une conception efficace de tout outil d'apprentissage ;
- Chapitre 3 : « le développement des compétences : théories et méthodes », dans lequel nous définirons les unités de mesure de l'activité de travail et fournirons une opérationnalisation efficace de la didactique professionnelle pour réaliser une analyse de cette activité ;
- Chapitre 4 : « vers la définition du modèle de l'adaptation instrumentale », dans lequel nous traiterons des théories concernant l'acquisition des connaissances selon une dimension socio-constructiviste. Cette partie nous permettra d'énoncer et de décrire le modèle de l'adaptation instrumentale pour la conception des dispositifs d'enseignement-apprentissage avec les technologies informatiques.

Notre conclusion s'achèvera par la définition des enjeux industriels de la problématique de recherche et de ses hypothèses.

Dans la **partie pragmatique** nous expliquerons comment, avec l'intégration des trois paradigmes théoriques fondamentaux (chapitres 2, 3, 4), a été conçu le *serious game* LabQuest, à partir des premières phases d'identification de ses objectifs pédagogiques jusqu'aux dernières adaptations, ajustements et *de-bugs*². Cette deuxième partie expliquera notre modèle holistique de conception et de développement de *serious games* PEGADE.

Dans la **partie empirique**, nous présenterons le protocole d'observation qui nous a permis de tester nos hypothèses. Les enjeux industriels et scientifiques seront, ici, traités de façon à répondre aux problématiques présentées dans la partie théorique. Les approches théoriques trouveront leur mise à l'épreuve :

- dans le chapitre 7, un protocole de observation, récolte et analyse des données a été conçu dans le but de tester l'efficacité du *serious game* en ce qui concerne le développement des compétences professionnelles et le transfert de ces dernières d'un environnement virtuel à une pratique réelle ;
- dans le chapitre 8, un protocole d'observation et analyse du processus d'acquisition des artefacts pour le développement des compétences au sein du dispositif d'apprentissage et l'éventuelle genèse instrumentale de ces derniers a été conçu et mis en place dans le but de vérifier le modèle de l'adaptation instrumental.

Cette partie nous permettra aussi de présenter le résultat relatif à la vérification des hypothèses énoncées dans la partie théorique. D'autres résultats périphériques seront présentés dans cette partie empirique. Nous finirons cette section en discutant des perspectives futures, des points d'amélioration mais également des enjeux théoriques futurs, notamment avec les nouvelles questions de recherche que notre travail aura fait resurgir.

² Résolution des erreurs de conception des programmes informatiques. Le *bug* est défini comme un défaut de conception d'un programme informatique à l'origine d'un dysfonctionnement.

PARTIE THÉORIQUE

1. Contexte de recherche

Dans le cadre de cette thèse, l'entreprise WhiteQuest a souhaité recourir à un contrat CIFRE dans l'objectif de concevoir un dispositif de formation sous forme d'un *serious game* (SG) de simulation qui reproduit un environnement virtuel, le plus proche possible des situations réelles, en vue de former et d'évaluer les compétences professionnelles des personnels travaillant en salles blanches. Par conséquent, notre mission consiste, d'une part, à conduire une recherche des méthodes et des stratégies déjà disponibles dans la littérature scientifique pour la conception des SGs et, d'autre part, d'opérationnaliser ces démarches de conception afin d'aboutir à un véritable produit susceptible d'être commercialisé par la suite. Dans cette perspective, notre présence permanente, tout au long de la conception-développement est exigée afin de réaliser les activités suivantes : l'analyse du besoin de formation, l'étude des formations existantes, l'étude et le développement des stratégies de scénarisation des contenus pédagogiques sélectionnés, la conception des décors et celle d'un scénario global, le design de menus contextuels pour l'interaction avec les objets, le choix et le développement de l'interface homme-machine et enfin, la conception de l'algorithme de score. De plus, une analyse de l'efficacité de l'outil doit être réalisée en deux temps : le premier portant sur l'utilisabilité du SG, le deuxième sur l'acquisition des compétences grâce au logiciel et le transfert de celles-ci dans la vie réelle.

En ce qui concerne les enjeux scientifiques, s'intéressant aux problématiques des apprentissages utilisant les technologies informatiques, le LISEC voit dans cette collaboration une opportunité pour réaliser une étude sur les modalités d'acquisition des apprentissages avec les SGs. En effet, c'est dans cette perspective que nous expliquerons de façon plus détaillée, la démarche expérimentale destinée à confirmer (ou infirmer) l'efficacité de l'outil pour le développement des compétences professionnelles qui sont apprises et entraînées dans un environnement simulé et virtuel. De plus, ce SG sera utilisé pour comprendre les dynamiques du processus d'acquisition des connaissances et des compétences selon la théorie du conflit instrumental qui trouvera dans ce contexte son application, sa vérification et son évolution.

L'idée de réaliser un SG pour la formation et l'évaluation des compétences professionnelles est justifiée par une exigence réelle de formation et d'évaluation au sein des entreprises pharmaceutiques. Ces besoins sont dictés par une obligation réglementaire qui impose aux industries pharmaceutiques d'évaluer les compétences techniques de leurs salariés

dans une logique d'habilitation au poste (formation initiale) ou de requalification, tous les 6 à 24 mois, et de les former aux procédures techniques liées à leur environnement particulier de travail. En raison des coûts très élevés de ces formations, ces entreprises rencontrent de grandes difficultés à accomplir leurs obligations. En effet, elles sont non seulement pénalisées par l'absence d'outil de diagnostic rapide et fiable des acquis et des lacunes des candidats à ces postes de travail, mais aussi par la longueur et le coût des formations d'intégration dans l'entreprise. De plus, ces formations n'étant pas personnalisées, elles ne permettent pas de répondre de façon appropriée aux difficultés individuelles.

Grâce au financement de cette thèse par un contrat CIFRE, WhiteQuest envisage de réaliser d'une solution innovante aux questions relatives à l'évaluation des compétences et à la formation des opérateurs travaillant en salles blanches. Ces objectifs seront réalisés grâce à la conception et au développement de deux outils :

LABQUEST™ évaluation : il s'agit d'un environnement virtuel en 3D dont la finalité est l'évaluation des personnels travaillant en zone aseptique de production pharmaceutique. Ce SG permet de placer l'utilisateur en immersion 3D au sein d'une unité de production de type « salle blanche » réaliste.

LABQUEST™ formation : est un dispositif qui intègre les contenus BPF (Bonnes Pratiques de Fabrication) ou GMP (*Good Manufacturing Practices*) directement dans l'environnement virtuel 3D. L'utilisateur, en phase d'exploration, peut accéder aux contenus d'enseignement en cliquant sur les objets présents dans l'usine virtuelle. L'objectif de cette formation est de rendre l'utilisateur autonome dans l'apprentissage des BPF, afin d'avoir une vision d'ensemble de l'environnement, des procédures de travail et des normes propres aux zones de production aseptique standard.

1.1. WHITEQUEST

1.1.1. L'équipe

S'échelonnant sur environ un an et demi, la conception du produit repose sur la collaboration entre les membres de différents profils professionnels présents dans la jeune entreprise. L'experte pédagogique (ingénieure pédagogique et doctorante en sciences de l'éducation, en charge de l'aboutissement de cette thèse) a pour mission de rechercher et de choisir les contenus pédagogiques ainsi que de réfléchir à la manière la plus adaptée de les intégrer aux technologies informatiques de simulation 3D choisies pour ce but. Le scénario pédagogique découle ainsi de cette réflexion. Une équipe de développeurs construit l'infrastructure technique adaptée à l'hébergement du SG ; ces derniers s'occupent également

d'intégrer l'algorithme de score et de résoudre les problèmes techniques liés au développement en phase d'affinement du produit. Un graphiste 3D se consacre à la modélisation des éléments 3D et de l'environnement qui doit être intégré dans le moteur *Unity 3D*³. Une équipe de sous-traitants s'occupe du développement du SG, de l'interface homme-machine, des animations, de l'intégration des objets 3D et à la résolution des bugs. Un responsable marketing s'occupe, quant à lui, de la préparation du matériel nécessaire à la vente. Le président de la société possède un rôle managérial, de promotion du produit, d'aide à la relation et à la communication entre les différentes figures professionnelles et de relations avec les clients.

Suite à la réalisation du logiciel, il a été nécessaire d'effectuer des *beta-tests* pour vérifier l'utilisabilité et la maniabilité du logiciel selon des principes de simplicité, d'intuitivité et d'ergonomie.

Des preuves d'efficacité du produit dans sa capacité à développer les compétences professionnelles requises pour le travail en salle blanche se sont imposées pour valider la pertinence du SG. Dans ce but nous avons conduit deux études d'usage, la première *in vitro*, la deuxième *in vivo*, qui seront discutées tout au long de cette thèse.

1.1.2. Une opportunité unique

Le fondateur de WhiteQuest, précédemment directeur général délégué du pôle de compétitivité mondial Alsace Biovalley (dédié aux innovations dans le secteur de la santé) a été conduit, dans le cadre de son activité précédente, à diriger le projet de construction, en Alsace, d'une usine-école unique en Europe pour les métiers de la production en salles blanches : EASE - *European Aseptic and Sterile Environment Training Center*. Les industries pharmaceutiques ont participé au financement de ce projet à hauteur de 6 M€ (soit environ 25% de son coût global), preuve de leur intérêt pour ce type d'initiative modernisant la formation aux environnements propres. De cette expérience, il a pu expliciter un besoin inachevé auprès de ces industries. Au-delà de ce qu'une infrastructure physique comme l'usine-école EASE permettait de résoudre, trois problèmes majeurs restaient à résoudre :

- 1) disposer d'un outil rapide et fiable d'évaluation des compétences des personnels, pour répondre à une obligation réglementaire : tout personne travaillant en salle blanche doit être évaluée tous les 6 à 24 mois (selon le type de produits manipulés) pour maintenir son habilitation à travailler en environnement stérile ;
- 2) fiabiliser et optimiser les recrutements : en vérifiant le niveau exact des connaissances et des compétences des candidats, afin de construire un parcours de formation sur mesure, plus court, plus pertinent et moins cher pour l'entreprise. Il s'agit aussi bien des futurs

³ *Unity 3D* est un moteur de jeu multi-plateforme l'un des plus répandus dans l'industrie des jeux vidéo.

salariés que des intérimaires, des salariés ou des sous-traitants. A ce titre, il faut bien souligner qu'un parcours d'intégration classique au travail en milieu aseptique dure entre 4 et 8 semaines ;

- 3) former les personnels aux situations d'urgence, sans mettre l'infrastructure de production en péril : s'assurer que les personnels savent comment réagir à des situations exceptionnelles comme en cas d'incidents, de contaminations, de malaises de techniciens en salle blanche, d'explosions de machines, etc. à l'instar des formations prodiguées aux pilotes dans l'aéronautique.

1.1.3. Le démarrage des activités de recherche et le contexte scientifique

Un travail de formulation du besoin et de réflexion à propos d'une solution pertinente aux problèmes présentés plus haut a été conduit par le fondateur de WhiteQuest pendant les deux années précédant la création de l'entreprise. La définition de ce besoin a été soutenue par des industriels, des experts techniques et des chercheurs en sciences de l'éducation.

Le travail de recherche et de développement s'annonçant particulièrement complexe dans ses dimensions de stratégie d'évaluation et d'apprentissage, WhiteQuest a noué un partenariat avec le LISEC – Alsace EA 2310 qui s'est concrétisé par l'embauche par l'entreprise de Maria DENAMI, doctotante en sciences de l'éducation. Ce projet est donc documenté par la présente thèse CIFRE qui a également obtenu une subvention triannuelle de la part de la Région Alsace.

L'hypothèse consiste à soutenir qu'il est possible de résoudre, ou mieux, de ne pas déclencher de conflits instrumentaux nuisant à l'apprentissage, en choisissant avec précaution les contenus didactiques qui seront proposés et intégrés dans le scénario pédagogique, pour la constitution d'un outil de simulation pour la formation et l'évaluation du personnel travaillant en zone aseptique : LabQuest.

Le postulat sur lequel s'appuie notre recherche consiste à dire que rien ne peut être plus efficace pour l'apprentissage par l'action que la pratique et la simulation des gestes professionnels. Malheureusement, dans des situations comme celles de la production en salle blanche, une personne débutante ou expérimentée, mais récemment (ré-)intégrée au personnel, ne peut pas accéder au terrain sans avoir suivi une formation initiale ou complémentaire visant à la qualification. En raison des risques encourus pour sa santé, pour l'environnement et pour l'économie de l'entreprise, dans le cas où, à cause d'un erreur, un lot de produit devrait être mis en péril ou endommagé (pour ne pas parler des risques de répercussion pour le reste du personnel en cas d'accident grave). D'où l'intérêt de concevoir un outil de simulation 3D, d'évaluation et de formation aux bonnes pratiques de production et aux gestes professionnels adéquats.

LabQuest devrait également pouvoir répondre aux exigences d'évaluation rapide du personnel en phase de recrutement. Cet outil offrira un système élaboré de détection des compétences et pourra analyser instantanément l'ensemble des savoir-faire et des connaissances théoriques de l'opérateur, en mettant en évidence les points forts et les points faibles de sa performance.

1.1.4. Contexte économique

En France

Les cibles commerciales de WhiteQuest sont les entreprises produisant en salles blanches (cf. la définition dans le paragraphe 1.2). Les prescripteurs intéressés sont tout d'abord les directeurs de production et dans un second temps les pharmaciens en charge de l'assurance qualité. Ce sont eux qui définissent généralement les formations à prodiguer à leurs collaborateurs. Les services RH (Ressources Humaines) locaux mettent en œuvre les demandes et gèrent les carrières. Les maisons-mères des groupes internationaux ne donnent que des orientations en matière de formation et non des prescriptions spécifiques. Ce choix de cible prioritaire de clientèle s'explique notamment par le fait que les industries pharmaceutiques françaises consacrent 3,6 % de leur masse salariale à la formation, soit 20% de plus que les autres industries, n'hésitant pas à envoyer parfois leurs salariés en formation sur d'autres continents si cela s'avère pertinent, tant les enjeux sont importants. Les entreprises du médicament accordent par ailleurs une place très importante aux jeunes. Les moins de 26 ans représentent 25 % des recrutements chaque année ; 29,1 % de leurs salariés ont moins de 36 ans.

Par la suite, WhiteQuest envisage de décliner LabQuest pour d'autres industries travaillant en salles blanches, notamment celles des dispositifs médicaux et cosmétiques, qui représentent environ 350 clients potentiels supplémentaires en France. L'IFIS (Institut de Formation des Industries de Santé), partenaire de distribution de WhiteQuest pour la France, est également l'organe national officiel de ces industries, regroupées au sein de la FEFIS (Fédération Française des Industries de Santé). Par ailleurs, des déclinaisons de LabQuest sont également envisagées vers l'électronique, l'aéronautique, le nucléaire ou l'agroalimentaire, produisant toutes en salles propres.

A l'étranger

L'internationalisation de LabQuest interviendra dans un second temps, lorsque les retours utilisateurs auront été suffisants pour s'assurer que les produits ne nécessitent plus de

corrections majeures. Elle se fera par l'intermédiaire de distributeurs dans chaque pays cible, sur un mode de fonctionnement similaire à celui mis en place avec l'IFIS pour la France.

Les principaux pays et régions du monde produisant des médicaments sont : L'Europe de l'Ouest, les États-Unis, le Canada, le Japon, la Corée du Sud, Singapour, la Malaisie, le Brésil et l'Afrique du Sud. L'Amérique du Nord représentait à elle seule 41,8 % des ventes mondiales de l'industrie pharmaceutique en 2011 (26,8 % pour l'Europe).

1.1.5. Les perspectives de croissance

Une industrie pharmaceutique florissante

L'industrie pharmaceutique française affiche une croissance annuelle moyenne de 5 à 7 %. Les dernières années ont pourtant été marquées par la perte de nombreux brevets, tombés dans le domaine public. Une évolution en terme d'optimisation des coûts et la production de leurs propres médicaments génériques étaient donc nécessaires. Elles ont également massivement investi dans la R&D (Recherche & Développement) pour la découverte de traitements de nouvelle génération. Plus de cent bio-médicaments sont actuellement en phase clinique finale au sein des principaux laboratoires pharmaceutiques mondiaux. Cela signifie que des dizaines de nouveaux blockbusters (médicaments générant plus de 5 Mds\$ de CA) vont arriver sur le marché à partir de 2015. Les analystes prévoient ainsi une forte progression des ventes dans les pays occidentaux, et donc une nouvelle croissance forte pour les industries pharmaceutiques.

Une utilisation toujours plus large des environnements de production ultra-propres

L'industrie cosmétique est en pleine mutation. L'objectif est actuellement de proposer aux consommateurs des produits plus naturels, sans conservateurs ni additifs chimiques qui sont souvent la cause de réactions allergiques. La réglementation européenne est également en train d'évoluer dans ce sens et se rapproche de celle de la pharmacie. Dès lors, pour préserver leur qualité et leur durabilité dans le temps, les produits doivent être fabriqués en environnement stérile (salles blanches). De ce fait, de nombreuses entreprises cosmétiques sont ainsi en train de migrer vers une production en salles blanches. Il en est de même pour l'industrie agroalimentaire qui, ces dernières années, a subi de nombreux scandales liés à ses techniques de production. Aux États-Unis, la même autorité réglementaire supervise les industries agroalimentaire et pharmaceutique, la FDA (*Food and Drug Administration*).

1.2. La formation Pharmaceutique en salle blanche

La zone aseptique, aussi appelée Zone à Atmosphère Contrôlée – ZAC – ou salle blanche, est un environnement conditionné par un dispositif de filtration d'air permettant d'éviter l'intrusion de particules risquant de contaminer l'environnement aseptique. Les paramètres tels que la température, l'humidité et la pression relatives sont maintenus à un niveau précis. Pour accéder à une ZAC, le personnel doit scrupuleusement observer certaines normes d'hygiène, d'habillement et de comportement.

Le travail dans les environnements aseptiques est caractérisé par une complexité croissante des systèmes techniques et organisationnels qui entraîne une diversification et une augmentation de la complexité des situations de travail. La formation des personnels travaillant dans ces environnements, qu'elle soit initiale ou continue, est devenue un enjeu essentiel afin de parer à ces mutations. En effet, il est prouvé que 70 % des retraits de lots ou des accidents sont d'origine humaine. Les formations, dans ces environnements sensibles, devraient permettre d'éduquer les collaborateurs à prévenir les accidents dans les domaines où la sécurité est critique.

Cependant, nombreuses sont les raisons pour lesquelles ces formations ne sont pas toujours adaptées. De manière générale, les opérateurs suivent une formation qui va de 4 à 6 semaines avant d'être mis en situation réelle. Cette formation présente souvent des sujets théoriques illustrant les principes de GMP (*Good Manufactory Practice*) ou des éléments d'ordre managérial concernant la hiérarchie et les responsabilités réparties dans la production en entreprise. Par conséquent, les opérateurs qui entrent dans une zone de production pour la première fois n'ont rencontré les procédures de production que d'un point de vue théorique. Ils manquent, par conséquent, d'expérience pratique et chaque nouvelle situation rencontrée s'avère être un défi difficile à gérer. Comme nous le verrons de façon plus approfondie plus tard, l'expérience est un moyen privilégié et plus adapté pour développer des compétences professionnelles. Le fait de vivre des situations variées et réalistes, dans le cadre d'un apprentissage où l'apprenant est protagoniste de son action, lui permet de construire ses propres représentations mentales de l'activité et de consolider ses connaissances. De ce fait, un outil de formation idéal devrait permettre à l'apprenant de construire ses propres représentations par le biais de l'expérience (en plus de fournir les bases théoriques nécessaires à l'appréhension des concepts du terrain). Toutefois, une formation sur le terrain, dans ce secteur d'activité, n'est pas envisageable dans l'environnement de production (réel) en raison des risques pour l'apprenant, le produit, l'environnement et l'économie de l'entreprise dans le cas de la survenue d'un accident. De plus, une telle formation demanderait la mobilisation et la mise à disposition des équipements et des locaux dans les entreprises. C'est pour cette raison

qu'une conception d'environnements virtuels pour la formation s'impose pour faciliter l'apprentissage. Ces environnements virtuels pour la formation ont par ailleurs prouvé leur efficacité dans le cadre de l'apprentissage en situation complexe (Carpentier & Lourdeaux, 2013). En simulant le contexte de travail, ces environnements offrent un large champ de situations réelles. Cependant, pour être efficace, l'apprentissage doit se faire graduellement par l'étayage progressif des connaissances de l'apprenant. Il faut également veiller à ce que l'attention et la motivation de l'apprenant soient maintenues à un niveau acceptable.

Dans ce chapitre, nous présenterons l'état actuel des formations disponibles dans le secteur pharmaceutique. L'état de l'art des formations disponibles en France montre l'adoption de la part des entreprises d'une approche « traditionnelle » qui propose des méthodes d'enseignement de type frontal et magistral, des vidéos commentées ou des diapositives associées à la lecture des procédures GMP. Parmi les méthodes utilisées pour l'évaluation des compétences du personnel, nous faisons état de différentes stratégies. Les plus utilisées pour la qualification du personnel sont principalement vouées à vérifier les connaissances théoriques de l'opérateur (QCM). D'autres visent la vérification de la conformité du produit conditionné suite à une session de production (*media fill test*⁴). Une troisième méthode consiste en une observation directe de l'opérateur pendant l'activité quotidienne de travail. Nous présenterons en détail ces méthodes.

1.2.1. Les formations et les évaluations Pharma « traditionnelles »

Il s'agit des formations les plus répandues dans les entreprises françaises, dont les besoins et les objectifs principaux attendus dans un futur proche devront résoudre certaines incohérences entre l'offre de formation et les exigences réelles de ces milieux de travail. Elles se présentent d'abord sous la forme de formation initiale, c'est-à-dire dispensée au moment de l'embauche de l'opérateur, puis de formation continue. Dans ce deuxième cas, l'opérateur est tenu de passer une évaluation ayant lieu une ou deux fois par an. Les mêmes formations sont proposées aux personnels dans le cas où ils ont dû s'absenter du travail pour une moyenne-longue durée : c'est le cas, par exemple, des arrêts maladies prolongés ou des congés maternité/paternité ou parentaux.

Parmi les formations disponibles dans le secteur des entreprises pharmaceutiques nous pouvons trouver :

⁴ Traduit non littéralement comme « test processus de remplissage ». Il s'agit d'une méthode d'évaluation qui exige l'analyse de l'échantillon de produit prélevé en fin de chaîne de production pour en vérifier l'éventuelle contamination micro-biologique.

▲ La formation en face-à-face animée par un formateur (ou un intervenant) externe à l'entreprise

Les entreprises pharmaceutiques font appel à des centres de formation spécialisés dans le secteur des normes des salles stériles et de l'ultra propre⁵. Ici, les formateurs sont appelés pour approfondir une ou plusieurs thématiques sensibles de la production pharmaceutique. Ces interventions peuvent être proposées aux personnes travaillant déjà en zone de production (opérateurs, techniciens de maintenance) pour lesquels il est souhaitable de reprendre/réviser un ou plusieurs sujets (souvent il s'agit des cours de mise à niveau) mais également pour former le personnel néophyte à l'issue de l'embauche. Les cours sont dispensés en présentiel : il s'agit souvent de cours magistraux devant un groupe de personnes travaillant dans l'entreprise. Une partie théorique est souvent construite avec l'explication et l'analyse des gestes professionnels que le collaborateur doit acquérir afin de mener correctement son travail. En cas de mise à niveau des pratiques d'apprentissage, la formation a vocation à rétablir les standards de l'activité qui ont pu dévier au cours des mois, en raison de la routine de l'activité.

▲ La formation face-à-face avec le formateur interne à l'entreprise

Les entreprises plus grandes ont souvent un service de formation interne ayant comme but le suivi de ses collaborateurs au quotidien. Ce service interne offre l'avantage d'avoir un diagnostic précis et mis à jour des activités du personnel dans l'entreprise et de pouvoir adapter la formation aux exigences des différents individus. Néanmoins, les formateurs sont tenus de dispenser des cours magistraux aux nouvelles recrues et de leur consacrer beaucoup de temps lors de formations en face-à-face. Parfois, ces entreprises disposent de salles adaptées à la simulation des gestes que les travailleurs doivent accomplir quotidiennement dans le cadre de leur activité professionnelle ; néanmoins, ces salles d'entraînement sont très coûteuses à construire (en raison des matériels nécessaires) et encore plus difficiles à entretenir, ce qui ne permet pas de pouvoir en bénéficier dans toute entreprise. Nous en avons observé quelques-unes dans les entreprises les plus grandes. Les formateurs employés pour combler les besoins de formation sont, dans le meilleur des cas, des ex-opérateurs de salle blanche qui sont montés dans la hiérarchie pour des raisons de mérite. Dans d'autres cas, il s'agit de docteurs en microbiologie ou d'experts de l'environnement ultra-propre qui n'ont pas d'expérience relative à la production en zone aseptique. Les formateurs, de ce fait, consacrent la totalité de leur temps à la formation ce qui représente un coût permanent (et consistant) pour l'entreprise. Ces formations en présentiel traitent aussi de l'apprentissage des gestes plus fins et quotidiens,

⁵ <http://www.groupe-imt.com/fr/eboutique/42/phi-41>

<http://www.ifis.asso.fr/page/les-seminaires>

comme par exemple la procédure d'habillage pour l'entrée en ZAC. Ce type de formation est fondamental et n'est, en aucun cas, remplaçable par d'autres technologies, même de simulation.

▲ Tutorat en salle blanche

Le tutorat en salle blanche est l'une des méthodes de formation du personnel parmi les plus efficaces. Pendant les premières mois de travail, les collaborateurs sont suivis constamment dans leur activité de travail en salle blanche : chaque geste leur est expliqué le moment venu. De ce fait, toute erreur peut être prévenue avant qu'elle ne se produise et redirigée afin que la procédure soit accomplie de façon correcte. Ce type de formation (mis à part le problème des coûts des formateurs) comporte évidemment des risques dans le processus de production car l'apprenant pourrait commettre des erreurs dues à la non-maîtrise du geste même s'il est encadré par une personne expérimentée.

Dans le tableau 1 ci-contre nous résumons toutes les informations concertantes les formations disponibles sur le marché adressées aux entreprises pharmaceutiques.

Type de formation	Description	Avantages	Inconvénients
Formation théorique face-à-face (organisme de formation externe)	Il s'agit de la typologie la plus utilisée pour la formation du personnel. Les formateurs d'un grand centre de formations sont appelés en cas de besoin pour programmer une séance de formation.	Suivi d'un expert sollicité à propos d'une problématique <i>ad hoc</i>. Formation dispensée à un grand public d'apprenant.	Coûts très élevés. Impossibilité d'organiser la formation dans les zones classées de l'entreprise. Le formateur ne peut pas adapter sa pratique pour chaque apprenant car il ne connaît pas personnellement ses interlocuteurs. Adaptabilité moyenne aux exigences spécifiques de l'entreprise.
Formation théorique face-à-face (organisme de formation interne)	Nous observons cette typologie de formation dans les grandes entreprises plus grandes ; le service de formation est intégré et toujours disponible pour les nouveaux recrutés. Il s'agit de l'apprentissage des gestes fins qui ne peuvent être appris autrement qu'avec un entraînement en réel.	Suivi au quotidien d'un service de formation. Adaptabilité de la formation exactement aux besoins précis de l'entreprise. Formation dispensée à un grand public d'apprenant. Cette formation apprend aux collaborateurs des procédures d'habillage qui ne seraient pas possible avec d'autres moyens de formation.	Coûts d'un service de formation internalisé. Impossibilité d'organiser la formation dans les zones classées de l'entreprise. Possibilité pour le formateur d'adapter la formation et les pratiques à ses interlocuteurs grâce à une connaissance personnelle des forces et des limites des différents collaborateurs dans leur environnement.
Tutorat en salle blanche	Il s'agit d'une formation <i>in-situ</i> au sein de laquelle l'apprenti est suivi par un tuteur qui se préoccupe d'accompagner son apprentissage en surveillant et en guidant sa pratique d'initié.	Suivi de près de l'apprenant. Formation procédurale et en activité.	Multiplification des risques d'accidents. Suivi individuel (pas en groupe) dans les zones classées de l'entreprise.

Tableau 1 : méthodes de formation utilisées dans le secteur pharmaceutique

Nous présentons ci-dessous, l'analyse des évaluations disponibles. Elles sont proposées aux personnels suite à la formation initiale, en vue d'une qualification, ou suite à une interruption d'activité pour des questions de santé (arrêt maladie et/ou arrêt maternité ou paternité).

▲ Les QCM (questionnaires à choix multiples)

Certains estiment possible l'évaluation des compétences procédurales avec l'outil d'évaluation qu'est le questionnaire à choix multiple. Cependant, suite à une analyse des contenus de ces tests, proposés en fin de formation aux apprenants, nous avons pu constater que le sujet d'évaluation n'était pas adapté aux objectifs d'évaluation. En effet, les QCM soumis aux

personnes évaluées proposent fréquemment des questions centrées sur des sujets éloignés de la pratique quotidienne : par exemple, on évalue les travailleurs sur leurs connaissances relatives aux méthodes de stérilisation chimiques ou mécaniques alors que, dans la plupart des situations, ces procédures sont réalisées à l'extérieur de l'entreprise. D'autres focus d'évaluation concernent la réglementation interne et la structure hiérarchique au sein de l'entreprise. Bien qu'il s'agisse de questions intéressantes pour la culture générale de la personne qui travaille dans une entreprise pharmaceutique, ces évaluations n'abordent pas les finalités ultimes du travail en salle blanche, c'est-à-dire l'opérativité et la maîtrise des procédures de la part de l'opérateur. En d'autres termes, la façon dont ce QCM est conçu ne permet pas de mesurer les compétences ou les gestes fins de production car, par définition, ces tests évaluent des aspects purement théoriques (au même titre, estimons-nous qu'afin d'obtenir le permis de conduire, les QCM sont pertinents pour évaluer les connaissances théoriques relatives au code de la route, mais ne se substituent à pas la pratique de conduite).

Pour pouvoir répondre de façon correcte à un QCM, la personne évaluée mobilise une capacité d'abstraction qui doit être importante. Même dans le cas où quelqu'un aurait conçu un questionnaire capable d'évaluer des connaissances procédurales, la personne évaluée doit « traduire » son « savoir-faire » relatif à une procédure dans une forme écrite. Ce processus demande une compétence pour expliciter (à voix haute ou dans la tête) la procédure et la comparer aux possibilités offertes dans le questionnaire à choix multiple. Néanmoins, pour les personnes douées d'une intelligence plus « manuelle » et « opérative », le fait de devoir verbaliser, étape par étape, une procédure faite chaque jour et qui est devenue mécanique, pourrait s'avérer très difficile.

Les questions proposées par les QCM apparaissent parfois suggestives et directives, ce qui rend les réponses prévisibles et non pertinentes. Nous avons fait l'expérience d'un test d'évaluation sous la forme d'un QCM proposé à l'apprenant à la suite d'une vidéo commentée. Sur un échantillon de candidats (5 personnes maîtrisant la langue française et avec un haut niveau de scolarisation) n'ayant jamais travaillé en salle propre et n'étant pas familiers avec le sujet, tous sont parvenus à obtenir 95 à 100 % de réponses correctes à ce type de QCM d'évaluation. Cette expérience montrerait que, dans ce cas spécifique (qui est aussi le cas d'autres formations), la réussite à cette épreuve est influencée par la capacité de compréhension et d'analyse logique de la personne évaluée face aux textes et aux explications qui précèdent les QCM. Souvent, il s'agit de textes à lire, CD à écouter ou encore d'un cours magistral avec un formateur. L'exemple que l'on vient de citer montre l'importance de la maîtrise de la langue française par le collaborateur et l'impact que cette compétence aurait sur la compréhension des questions et des propositions de réponses. Ce phénomène est, en effet, régulièrement dénoncé

par les instances représentatives du personnel, car il discrédite la pertinence du résultat final. Il se trouve que le pourcentage de personnes d'origine étrangère dans les entreprises pharmaceutiques est très élevé sur le territoire français, ce qui traduit alors un biais de réponse.

Les QCM posent donc problème pour l'évaluation à la fois des compétences procédurales, mais aussi des connaissances minimales requises pour conduire des opérations en salle propre. Ces problèmes structurels peuvent induire des conclusions erronées qui faussent la pertinence de l'évaluation. De plus, les QCM ne peuvent finalement donner que très peu d'informations quant au niveau de maîtrise réel du collaborateur, par rapport au risque de contamination.

▲ Le test en situation, sur l'outil professionnel

Concret et applicatif, effectué directement sur le poste de travail, ce mode d'évaluation permet de mesurer la performance professionnelle lors de cas pratiques issus du travail quotidien. S'il permet clairement d'évaluer les principaux gestes professionnels, cet outil souffre également de freins structurels :

- il est coûteux en temps et en ressources. En effet, pour finaliser cette formation, il est indispensable qu'un formateur se consacre, pendant une période importante, à l'évaluation d'une seule personne ;
- il risque d'être subjectif car il est le fruit d'une observation humaine (même si cette dernière s'appuie sur une grille d'observation très précise). La tenue portée par l'évaluateur limite par exemple sa capacité perceptive, un mauvais geste peut ne pas être vu, *etc.* La synthèse et l'agrégation de résultats subjectifs peuvent engendrer d'importants biais d'interprétation. Le résultat final ne peut pas être assimilé à une analyse scientifique fiable : elle n'est que le reflet d'une perception ;
- il augmente potentiellement les risques de contamination et d'accidents, au vu de la présence « non-ordinaire » de l'évaluateur en plus du nombre prévu de collaborateurs ;
- il nécessite l'arrêt de la chaîne de production durant la période d'évaluation ;
- le fait d'être sous observation pourrait biaiser la performance du collaborateur : d'un côté, il pourrait induire une augmentation importante de son stress et le conduire à faire des erreurs qui ne lui sont jamais arrivées. D'un autre côté, le collaborateur pourrait appliquer un degré d'attention inhabituel à sa pratique ;
- il ne permet pas d'aborder la question relative à la résolution d'incidents, du fait des risques encourus ;

Le test en situation (au sein des environnements protégés) permet d'évaluer certaines compétences du collaborateur, mais pose un réel problème de subjectivité. Il peut facilement être biaisé. La réalisation de ces observations naturalisées est, par ailleurs, compliquée, coûteuse

et ne permet pas d'évaluer les connaissances théoriques transverses du collaborateur, comme par exemple sa compréhension du concept de désinfection.

▲ Le test focalisé sur l'observation du résultat final (*media fill test*)

Le *media fill test* est une modalité d'évaluation qui consiste à analyser le résultat du travail, à savoir le produit fini. Cette modalité d'évaluation est indispensable pour s'assurer que le produit final a été fabriqué dans un état optimal pour sa mise en circulation. Elle permet, en même temps, de détecter les failles de production renseignées dans la documentation tout au long de la chaîne de production. Toutefois, ce test ne permet pas d'avoir un aperçu des habitudes de l'opérateur en salle blanche. L'activité humaine reste dans une sorte de « *black box* ». Par exemple, le collaborateur évalué peut avoir développé des méthodes alternatives de conduites d'opérations, non validées, non conformes ou dangereuses pour lui-même, sans que cela n'impacte la qualité du produit final. Elle peut enfin engendrer des risques importants qui ne seront pas mis en évidence par le test. A titre illustratif, le non respect des procédures de sécurité, de gestion des déchets ou de comportement individuel ne pourront pas être déduits par une observation du résultat final d'un *media fill test*.

En conclusion, aucune de ces trois méthodes d'évaluation, qui sont pourtant présentes dans les industries pharmaceutiques, ne permettent d'atteindre l'objectif poursuivi. Tout au plus, leur combinaison pourrait permettre de donner une image générale plus ou moins fiable du degré de compétence du collaborateur. Elle ne resterait cependant que partielle, non appuyée sur une analyse scientifique et impossible à déployer pour tous les collaborateurs concernés pour des raisons de coûts et de complexités diverses.

Dans le tableau 2 ci-contre nous résumons toutes les informations concertantes les formations disponibles sur le marché adressées aux entreprises pharmaceutiques.

Type d'évaluation	Description	Avantages	Inconvénients
QCM	Questionnaire dans lequel il s'agit de choisir parmi différentes réponses, la plus adaptée à la question posée.	Possibilité d'évaluer les connaissances théoriques. Évaluation standardisée et rapide.	Les réponses sont suggérées parmi les choix proposés. Impossibilité d'investiguer les connaissances procédurales. Nécessite un bon niveau de maîtrise de la langue dans laquelle le questionnaire est rédigé.
Tutorat (test en situation)	Il s'agit du suivi individuel de la part d'un formateur ou d'un évaluateur, guidé par une grille d'évaluation conçue de manière à minimiser le biais de subjectivité de l'observateur.	Possibilité d'évaluer les compétences procédurales.	Investissement en temps très important par rapport aux autres méthodes d'évaluation. Subjectivité possible des résultats d'évaluation. Coût très élevé.
Media fill test	Procédure qui vise à faire 3 cycles de production « en blanc » (détruit), puis d'en vérifier la qualité finale, afin d'en déduire un niveau de maîtrise supposé de l'opérateur. C'est une analyse du produit fini.	Possibilité de suivre un cycle de production en situation réelle.	Coûts élevés pour cause d'arrêt de production. Investissement en temps plus important par rapport aux autres méthodes d'évaluation. Aucune information sur la conduite d'opérations n'est fournie. Une procédure mal réalisée ne sera pas forcément visible. Ne concerne qu'un nombre très limité de profils (opérateurs).

Tableau 2 : Méthodes d'évaluations utilisées dans le secteur pharmaceutique

L'intégration et le respect des BPFJe sais reste un enjeu difficile du point de vue de la formation. En effet, dans un environnement protégé des risques liés à la production, une évaluation des compétences procédurales des collaborateurs, apparaît bien plus importante que celle de leurs connaissances théoriques qui, si elles ne sont pas correctement comprises ou appliquées, n'ont aucune valeur pour l'entreprise et ne suffisent pas à éviter l'incident.

1.2.2. Une question d'adaptation des modalités d'évaluation et de formation aux objectifs d'apprentissage

Si l'on essaye de comprendre quelles sont les causes de l'inadaptation des outils de formation et d'évaluation disponibles, nous trouverons que ces raisons sont à rechercher dans la façon dont les objectifs pédagogiques sont formalisés. En effet, suite à une analyse détaillée de

ces formations, nous pouvons remarquer que les objectifs pédagogiques déclarés dans le descriptif de la formation ne correspondent pas à ceux qui sont effectivement intégrés dans les formations et les évaluations. Nous donnerons ici deux exemples. Pour des questions de confidentialité, nous essayerons de décrire les formations sans faire référence aux organismes qui les produisent.

Exemple 1 : il s'agit d'une vidéo commentée intitulée « comprendre les GMP ». La vidéo montre une journée de production type et explique, ce qu'est une norme ISO⁶, une FDA⁷, quels sont les rôles managériaux qui s'occupent de la délibération d'un lot. Un QCM suit la vidéo commentée. Les questions posées sont les suivantes : « Quelle est la signification de GMP ? », « A quoi correspond le sigle BPF ? », « Qui est la personne responsable de la délibération des lots ? ». A ces questions, l'évalué a la possibilité de répondre en choisissant entre trois réponses à choix multiples pour chaque question posée. Suite à cet exemple nous pouvons faire deux réflexions que nous exposerons, sous la forme de deux interrogations :

- Est-ce que le sujet de la formation et son évaluation reposent sur la compréhension des GMP ? Nous dirions plutôt que la formation propose des définitions (donc des connaissances déclaratives) qui sont ensuite vérifiées grâce à un QCM qui répond précisément à cet objectif. Dans ce premier cas, nous pouvons donc affirmer que les objectifs pédagogiques ne correspondent pas à l'intitulé de la formation-évaluation.
- Dans le cas où la personne formée et évaluée obtient un résultat suffisant ou même un score de 100% au test proposé, aura-t-elle développé des compétences ou des savoirs qui l'aideront à comprendre le métier qu'elle s'apprête à exercer ? Nous sommes obligés d'y répondre négativement. En effet, même la plus fine connaissance des normes et des règles régissant un environnement de travail ne suffirait pas pour que l'apprenant puisse développer les compétences nécessaires.

Exemple 2 : un environnement 2D présente un sas d'habillage « type » d'une entreprise pharmaceutique. En revanche, elle est privée d'éléments fondamentaux comme les lavabos, le spray désinfectant et les éléments de la tenue. En bas à droite, tous les éléments manquants dans les pièces sont fournis. Parmi ces derniers, certains sont des « intrus ». L'objectif de cet exercice est de faire glisser au bon endroit les objets disponibles dans la pièce. La personne évaluée pourra parcourir mentalement les règles « du sale vers le propre » (en accédant à la salle blanche) et des flux de matière pour arranger la disposition de ces éléments dans la pièce virtuelle. Néanmoins un problème se pose : même les personnes les plus expérimentées dans le

⁶ *International Organisation for Standardisation*

⁷ *Food and Drug Administration* <http://www.fda.gov>

domaine de l'ultra-propre, ne parviennent pas à avoir un score élevé car il n'existe, dans cet exercice, qu'une seule bonne solution. Or, nous avons observé que toutes les entreprises ne sont pas identiques et que les choix de disposition des objets dans une pièce dépendent d'un nombre indéfini de variables (nombre de sas, produit fabriqué, taille de l'entreprise etc.). Cependant, cet exercice montre un très bas niveau d'adaptabilité aux exigences d'évaluation d'une entreprise à l'autre. Dans ce cas spécifique, nous observons que les objectifs pédagogiques ont été respectés (le but étant d'évaluer la compréhension de la part de l'apprenant des flux de matière et du principe « du sale vers le propre »). Par contre, l'outil manque de flexibilité et n'est pas capable de donner des *feedbacks* positifs ou négatifs suite aux erreurs commises. En effet, la personne ne peut vérifier la pertinence de ses choix qu'à la fin de l'évaluation, lorsqu'elle aura validé l'emplacement des éléments.

Ce sont deux des nombreux exemples qui montrent comment une bonne partie des outils e-learning développés aujourd'hui ne sont pas adaptés aux objectifs pédagogiques visés.

1.3. LABQUEST : pourquoi un Serious Game (SG) ?

1.3.1. Simulation et formation traditionnelles pour les compétences et les connaissances procédurales

Avec la création d'un SG, de nouvelles perspectives de formation destinées au personnel de la salle blanche pourraient être envisagées pour les raisons suivantes :

- Simulation active par opposition aux cours magistraux passifs. Les SGs et les simulateurs peuvent être utilisés aujourd'hui pour former le personnel à une procédure : la simulation 3D et interactive permet à une personne de se situer dans un contexte et un environnement proches de ceux qu'il a l'habitude de vivre dans le cadre de son travail. De plus, celui-ci, accessible à plusieurs niveaux sensoriels (la vue, l'ouïe et la perception sensori-motrice), offre l'avantage de pouvoir interagir et manipuler l'environnement virtuel. Cette possibilité n'est, en effet, pas offerte lors d'une formation « traditionnelle » (nous faisons référence aux formations décrites auparavant) dont ils ont pu faire l'expérience (vidéos commentées, diaporamas obsolètes ou cours magistraux).
- Les coûts de la formation, qui font appel à des intervenants extérieurs, semblent être très élevés pour une seule journée de formation, et seraient de l'ordre de 2000-2500 euros.
- Ces formations ne pourront pas être faites dans la zone à atmosphère contrôlée (ZAC) en raison des dangers d'accidents auxquels on risquerait d'exposer l'opérateur/apprenant entrant dans la zone, mais aussi les consommateurs de produits suite à une possible erreur de manipulation par ces derniers. Parmi ces menaces nous ne pouvons pas négliger les

risques environnementaux qu'on rencontre en cas de négligences durant la phase de production.

- Gain de temps. La conception d'un outil à des fins d'évaluation des compétences par simulation, permettra d'avoir un aperçu détaillé du niveau de maîtrise des opérations de chaque apprenant. Selon les résultats obtenus, la personne pourra se concentrer sur des sujets ou modules de formation plus précis, en particulier ceux où il aura obtenu les résultats les moins performants.

1.3.2. Le besoin d'un outil de formation et d'évaluation

Dans cette thèse, nous affirmons qu'un meilleur apprentissage et qu'une meilleure évaluation des gestes professionnels (qui sont les éléments-clés d'une activité de production comme celle dont on fait l'expérience au sein de l'entreprise pharmaceutique) devraient passer par l'exécution d'une simulation. En effet, la didactique professionnelle (nous approfondirons ce point dans le chapitre 3) met « l'activité de travail » au cœur du processus de conception d'une formation. Elle affirme en effet que, pour constituer une formation efficace, il est nécessaire de situer le travail, donc les actions et les gestes de travail, qui rendent cette activité optimale. Par ailleurs, les théories de l'apprentissage nous font prendre conscience de la variété des objectifs pédagogiques visés par les différents apprentissages et nous montrent une plus vaste palette d'approches pédagogiques pour les atteindre. Par exemple, l'apprentissage par l'action est considéré comme l'une des stratégies les plus efficaces pour l'apprentissage des procédures qui sous-tendent le développement de compétences professionnelles.

La conception du SG LabQuest s'appuie sur des choix méthodologiques fondés sur la théorie du conflit instrumental conceptualisé par Marquet (2003 ; 2011 ; Marquet & Coulibaly 2011). L'application de ce modèle, dans le cadre de la conception du SG, est fondamentale pour aboutir à un produit de formation adapté aux technologies choisies. Dans ce but, il est nécessaire de réaliser une analyse des objets d'apprentissage afin de construire des contenus pédagogiques adaptés à une intégration dans la formation assistée par ordinateur sous la forme de simulation virtuelle 3D. C'est dans cette optique que nous utiliserons les méthodes de la didactique professionnelle.

A l'issue de ce travail de conception et de développement, nous testerons le produit pour vérifier que cet objectif est atteint et que, dans ce cas spécifique, l'apprenant (qui est la cible et le principal usager du produit concerné) ne se trouve pas devant ce conflit qui empêcherait la réalisation de l'apprentissage.

Revue de la littérature :

Les concepts sous-jacents à la conception d'un Serious Game pour le développement des compétences professionnelles

Pour la conception de LabQuest des paradigmes aux épistémologies hétérogènes (provenant des sciences de l'éducation, la psychologie cognitive et la didactique professionnelle), se révèlent indispensables. Nous avons fait le choix de présenter à un certain niveau de détail les notions et concepts-clés de chacun de ces domaines, de façon à permettre aux lecteurs de différentes sensibilités scientifiques, et même hors champ, de comprendre pourquoi et comment nous avons pris appui sur ces champs disciplinaires.

La revue de la littérature est structurée de la façon suivante :

Dans un premier temps (chapitre 2), nous présenterons les SGs, leurs historiques et les avantages que ceux-ci peuvent offrir en termes d'apprentissage. Dans ce cadre, nous illustrerons une large palette de travaux (*learning by doing* et apprentissage par simulation) portant sur l'acquisition des connaissances procédurales et des compétences. Un inventaire des approches de conception des situations d'enseignement-apprentissage sera également réalisé.

Dans la deuxième partie (chapitre 3) nous traiterons des théories de l'activité humaine. Nous définirons les concepts-clés nécessaires à la compréhension de ce qu'est un geste professionnel et quel est son rôle dans le développement des compétences professionnelles. Dans ce but, nous nous focaliserons sur les méthodes qui nous permettront de réaliser une analyse de l'activité de travail du métier de l'opérateur en zone aseptique pour lequel le SG est réalisé. Nous adopterons, à ce titre, l'approche ergologique issue de la didactique professionnelle et de l'analyse de l'activité.

L'implémentation des technologies informatiques au processus d'apprentissage, sera l'objet de notre chapitre 4. Nous adopterons une approche socio-constructiviste de l'apprentissage, notamment grâce aux travaux d'Engeström (1999). Le même triangle Objet-Sujet-Communauté est repris sous une autre forme par Rabardel (1995) qui, avec sa théorie de la genèse instrumentale explique comment à lieu l'acquisition des connaissances grâce à un processus d'instrumentalisation et d'instrumentation des artefacts. Ici, la théorie du conflit instrumental trouve sa place, lors de l'intégration des technologies numériques dans une situation d'enseignement-apprentissage. Nous terminerons cette partie par la présentation d'un nouveau modèle théorique de l'adaptation instrumentale qui sera notre objet d'étude dans la partie empirique de la thèse.

2. Apprendre par la simulation : Pourquoi et comment apprendre avec les Serious Games (SGs)

Pour chaque objectif pédagogique une stratégie d'apprentissage : la simulation pour l'acquisition des connaissances procédurales

Les *Serious Games* (SGs) sont des dispositifs d'apprentissage relativement récents qui se diffusent de plus en plus dans les différents secteurs de la formation initiale et continue, à la fois pour le jeune public et pour les adultes. La conception d'outils aussi complexes et puissants, nécessite une connaissance fine des processus cognitifs qui sont mis en jeu lors de l'apprentissage humain. Afin de mieux comprendre ces dispositifs, nous présenterons dans un premier temps, les théories de l'apprentissage multimédia, en y incluant le processus de traitement des informations. En effet, nous partirons du postulat selon lequel les SGs utilisent souvent des mécanismes d'apprentissages issus de l'apprentissage multimédia. Dans un deuxième temps, nous estimerons essentiel de parcourir l'histoire, les définitions et les études qui ont pu être réalisées sur le sujet afin d'en comprendre les enjeux, tout en ayant présent à l'esprit l'aspect novateur de cet outil d'apprentissage. Nous tenterons enfin d'apporter une définition du SG, soulignerons les composantes qui caractérisent ce dispositif et utiliserons l'opportunité qui nous est donnée de présenter les phénomènes indirects d'apprentissage dans l'action ou *via* la simulation notamment lors de l'utilisation des SGs. Il s'agira en l'occurrence des stratégies de prise de décision⁸, de résolution de problèmes⁹ et de verbalisation¹⁰, par exemple.

La deuxième partie de ce chapitre 2 se focalisera sur la présentation des démarches ingénieriques employées pour la conception d'outils de formation/apprentissage au sens large. Dans ce but, nous présenterons les approches pédagogiques les plus utilisées pour la conception des parcours d'apprentissage, tels que l'apprentissage par instructions, par objectifs, par compétences, *etc.* De ce fait, nous soulignerons la nécessité d'adapter ces approches aux finalités d'apprentissage. Ces dernières, en effet, guident non seulement la conception d'outil d'apprentissage — y compris les SGs —, mais également l'ensemble du produit (forme/parcours/outil d'apprentissage). Chaque approche présentée sera « problématisée », et opérationnalisée afin de concevoir LabQuest. Nous parviendrons enfin à développer l'idée que l'apprentissage par l'action, réalisée par la simulation virtuelle est la stratégie la plus adaptée pour l'acquisition des connaissances procédurales en faveur du développement des compétences.

⁸ *Decision making*

⁹ *Problem solving*

¹⁰ *Thinking aloud* (Penser à voix haute)

2.1. *Serious Games* et simulation : un nouvel horizon pour la formation

Les jeux sérieux sont, dans leur forme actuelle, des outils de formation relativement récents avec des caractéristiques très différentes par rapport aux outils classiques d'apprentissage au moyen des TIC. Ils présentent parfois certaines similitudes, comme la modularité, la multi-médialité, l'hypertextualité, *etc.* et exploitent les avantages des jeux vidéo en ce qui concerne les aspects ludiques et la stimulation de l'imagination, mais en rajoutant à ces derniers une composante de formation et d'apprentissage qui leurs sont adaptés. En effet, l'oxymore « *Serious Game* » (« Jeux Sérieux », sa traduction française), combine deux concepts qui décrivent, d'une part, l'intention « sérieuse » de type pédagogique, informative, communicationnelle ou marketing, vouée à l'apprentissage ou au développement de compétences et, d'autre part, celle de scénarisation ludique et divertissante (Alvarez & Djaouti, 2012). De façon synthétique, un SG se présente sous l'aspect d'un jeu vidéo qui a vocation à rendre attrayante une matière d'apprentissage, grâce à l'utilisation de l'interactivité et de la ludification. La dimension « jeu » est, en effet, fondamentale car elle représente cette même dimension hédonique qui contribue au développement de l'être humain, sous ses aspects affectif, sensoriel, moteur, cognitif, intellectuel et social (Gaussot, 2002 ; Piaget, 1951 ; Phillips, 1981). Ainsi, l'apprentissage ludique vise à utiliser l'attractivité et l'engagement inhérents au jeu pour catalyser l'attention des apprenants et les engager dans leurs propres apprentissages (Dondlinger, 2007). C'est par le biais de l'activité du jeu que les apprenants deviennent les acteurs centraux de leur formation, en opposition à la posture passive qu'ils occupent souvent lors de situations traditionnelles d'enseignement.

Même s'il s'agit d'un objet d'étude relativement récent, la littérature scientifique propose de nombreux documents qui explicitent comment les SG sont employés à des fins de formation. Dans ce chapitre nous présentons les classifications des SG afin de comprendre quelles utilisations en sont faites aujourd'hui. En effet, ces formations utilisent la simulation et l'apprentissage par l'action, comme fondations pour rendre l'apprentissage possible, dès lors que les conditions réelles les rendent contraignantes. On peut citer, par exemple, les formations destinées aux pilotes d'avions ou d'hélicoptères *via* simulations (et SGs). De nouvelles applications de ces outils se développent de plus en plus, notamment dans les champs de la chirurgie et de la médecine.

2.1.1. L'historique des « *serious games* »

Les premiers SGs remontent aux années 1960, où ils avaient été intégrés dans des institutions comme les écoles, les universités et les entreprises avec comme objectif de

sensibiliser le public aux techniques managériales. Cependant, le concept de « *serious game* » n'avait pas la signification d'aujourd'hui. Il ne s'agissait pas de jeux numériques ou de jeux vidéo mais plutôt, de jeux de plateau et de mise en situation de façon ludique. Sa signification se transformera peu à peu en fonction de l'évolution des technologies informatiques. C'est à partir des années 1980 que les premiers jeux vidéo éducatifs commenceront à prendre une place significative sur le marché économique (*Operation Frog* 1983 ; *Le Sida et nous* 1986 ; *Number Magic* 1979 ; *Apprends-moi à Compter* 1987, *etc.*)¹¹.

La révolution des jeux pour l'apprentissage intervient en 2002 à la suite de la production du jeu vidéo de type simulation réaliste « *America's Army* », distribué gratuitement. Son but était de valoriser l'image de l'armée américaine et de repérer les joueurs les plus aguerris pour les recruter dans l'armée. Similairement, le concept de « jeu sérieux » a non seulement été utilisé à des fins éducatives, mais également pour faire référence à des champs d'action plus vastes, incluant la communication, la propagande, l'entraînement, le marketing, la publicité *etc.*

En effet, l'un des avantages de l'utilisation des « *serious games* » est celui de la possibilité de reproduire virtuellement des environnements réalistes et d'y intégrer des scénarisations au travers desquelles l'apprenant peut s'entraîner là où, dans une situation réelle, l'entraînement n'aurait pas lieu en raison des risques encourus pour la personne. Comme Landriscina (2009b ; 2009a) l'affirme, « *la simulation est utilisée comme méthode d'apprentissage et a comme principale caractéristique de reproduire des aspects spécifiques de la vie réelle* ». En effet, elle a toujours été employée dans des contextes allant des classes élémentaires — pour la résolution des problèmes algébriques —, jusqu'à la formation des infirmières ou des médecins (à l'aide des mannequins pour les manipulations plus complexes et délicates). Au cours des dernières décennies, les technologies informatiques nous ont permis de créer des univers virtuels, dans lesquels le scénario simulé peut être influencé par les actions de l'utilisateur ayant une interaction avec la machine (un disque dur, un logiciel ou une interface). Certains systèmes de simulation peuvent être comparés, à première vue, avec les jeux vidéo. Cette simulation peut montrer, dans certains cas, des similitudes (physiques) avec le monde réel, dans d'autres des environnements plus imaginaires, le jeu pouvant être composé par des règles *ad hoc* qui sont appliquées à son système interne.

2.1.2. *Serious games* et apprentissage multimédia : comment apprend-on ?

Par « multimédia » nous entendons une combinaison de contenus de différentes natures sensorielles tels que les textes, les sons, les images, les animations et les vidéos qui sont utilisés

¹¹

http://serious.gameclassification.com/FR/games/index.html?start=96&sort=game_year%20ASC&display=thumb

dans des buts divers et variés et, notamment, pour l'apprentissage. Quel est donc le rapport entre les apprentissages multimédia et ceux qui se font par l'intermédiaire des SGs ? Dans ce paragraphe nous viserons à mettre en évidence, d'une part, les points communs entre ces deux procédures d'apprentissage et, d'une certaine manière, nous essayerons de montrer comment le SGs peuvent être considérés comme une intégration/évolution de l'apprentissage multimédia. Nous présenterons, d'autre part, l'importance de concevoir les dispositifs d'apprentissage de façon adaptée à la manière dont l'être humain (destinataires et utilisateurs de ces dispositifs) traite les informations et les intègre dans son système de connaissances.

Pour présenter les fondements théoriques des corrélats cognitifs d'un apprentissage multimédia, nous nous appuierons sur les travaux de Mayer (2001, 2009, 2011). En effet, cet auteur a mis en évidence la tendance des concepteurs d'apprentissages, et notamment d'apprentissages multimédia, de créer des dispositifs de formation qui ne tiennent pas compte des assumptions théoriques sur la manière dont l'être humain traite l'information. Dans ses travaux, l'auteur explore les trois caractéristiques principales qui décrivent l'activité cognitive de l'apprenant : la dualité des canaux, aux travers desquels les informations peuvent être codifiées, ou double codage (*dual channel*), la capacité limitée de traiter l'information (*limited capacity*), et le rôle de l'activité de l'apprenant durant la codification de l'information (*active processing*).

2.1.2.1. Le double codage de l'information (*dual channel*)

La supposition théorique du double codage sous-tend que l'être humain est capable de traiter en parallèle des informations à partir de deux canaux sensoriels différents : d'une part de l'ordre du visuel et de l'emplacement spatial et, de l'autre, de l'ordre de l'auditif et/ou du verbal (Clark & Paivio, 1991). Cette donnée signifie que, dans la situation où un individu reçoit en même temps, une information auditive et une information visuelle, celles-ci seront codifiées et traitées de façon indépendante par le cerveau. Toutefois, pour que ces informations soient efficacement intégrées dans le système d'apprentissage, elles doivent être choisies de façon cohérente et ne pas présenter d'incongruités ou de conflits susceptibles d'empêcher la constitution d'une information unitaire et avoir des conséquences négatives sur l'apprentissage.

Ce postulat est effectivement utilisé dans des situations diversifiées d'apprentissages. Nous en faisons l'expérience dans certains types de MOOC (Massive Open Online Cours), au sein desquels le cours est accompagné par des présentations visuelles conçues de façon à faciliter la rétention des apprentissages, ainsi que dans les meilleurs e-learning qui préconisent des exercices visant ce double traitement des informations. Plus attentifs et conscients du fonctionnement cognitif des êtres humains, les enseignants conçoivent leurs cours tout en ayant

à l'esprit cette assumption théorique : chez eux, il est effectivement possible d'observer de quelle manière ils alternent et combinent différents supports (images, vidéos *etc.*) dans le cadre même de cours magistraux traditionnels.

Pourquoi donc l'apprentissage multimédia doit-il être pris en compte lors de la conception de dispositifs d'apprentissage de type SGs ? Il est évident que les SGs utilisent comme stratégies de scénarisation la reproduction d'environnements virtuels réalistes. Il est ainsi possible d'affirmer que ce type d'apprentissage est plus proche de l'apprentissage que l'on fait dans la réalité de façon spontanée. Au sein de ces dispositifs, il est en effet possible d'intégrer des stimuli très variés pouvant assurer une infinité de formes. Le SG *designer* doit aussi concevoir des situations qui alternent et combinent les deux canaux sensoriels de façon à soutenir le codage des informations présentes. Seules la répétition et l'insistance qui se déroulent aux deux niveaux sensoriels, peuvent augmenter la probabilité que ces informations soient effectivement retenues.

2.1.2.2. La capacité limitée de traiter l'information (*limited capacity*)

Le deuxième postulat affirme que la quantité d'information qui peut être codifiée par un canal sensoriel est limitée. Dans les années 1970, Baddley & Hitch (1974) avaient déjà démontré que la mémoire de travail d'un être humain pouvait, en moyenne, retenir un nombre d'information de sept unités. Il s'avère que, lorsqu'une illustration ou une animation lui sont présentées, l'apprenant ne parvient à retenir qu'une seule partie des informations. Par ailleurs, lorsqu'une narration est proposée, l'apprenant n'arrive à retenir que quelques mots ou phrases. En effet, les limitations de mémorisation liées au traitement des informations, obligent l'individu (de façon inconsciente) à diriger le focus de l'attention, ce qui prendra en considération certaines informations entrantes et en négligera d'autres. Néanmoins, si nous dupliquons la possibilité de traiter l'information, en stimulant deux canaux sensoriels (auditif et visuel) nous doublons la possibilité que l'information soit retenue et apprise.

Des stratégies métacognitives peuvent être utilisées pour examiner les processus de perception et de traitement des informations. Lors des paragraphes successifs, nous énoncerons, par exemple, l'importance de la verbalisation (chapitre 4).

2.1.2.3. Le rôle de l'activité de l'apprenant durant la codification de l'information (*active processing*)

Le troisième postulat affirme que l'être humain s'engage activement dans un processus cognitif afin de construire des représentations mentales cohérentes, vis-à-vis de l'expérience vécue (Mayer, 2014). Cette activité du processus cognitif inclut :

- 1) la direction du focus de l'attention pour les informations principales entrantes (en d'autres termes, la sélection) ;
- 2) l'organisation des informations entrantes en une architecture cognitive qui fasse sens pour l'individu ;
- 3) l'intégration de nouvelles informations traitées et codifiées dans le système de représentation déjà existant (dans la mémoire à long terme), de façon à intégrer des nouveaux apprentissages.

Un traitement cognitif efficace des informations donne comme résultat la constitution de modèles mentaux (ou des structures de connaissance) concernant la matière traitée et ses relations avec le monde environnant. Par exemple, dans une présentation multimédia qui scénarise de quelle manière se déroulent les marées, l'apprenant est mis face à des analogies qui lui sont déjà connues. Les nouveaux éléments lui permettent d'organiser, de ce fait, un système de connaissance inédit de type cause-effet. Les stratégies utilisées pour l'intégration de ces nouveaux éléments, aussi appelées structures de connaissance, sont multiples. Nous y retrouvons : le processus (autrement dit la création de liens causalité), la comparaison (qui permet de mettre en parallèle les éléments déjà présents dans le système de référence, mais aussi de nouveaux éléments acquis), la généralisation (qui consiste en l'application d'une caractéristique à une famille d'éléments et d'en inférer une règle commune), l'énumération (qui permet de créer une liste d'items) et la classification (qui consiste en la création d'une hiérarchie des éléments au sein d'un système cf. Chambliss & Calfee, 1998).

Pour ces raisons, lors de la conception d'un apprentissage multimédia qui se veut efficace, deux consignes doivent être respectées :

- 1) les éléments présentés dans l'apprentissage doivent avoir une structure interne cohérente ;
- 2) le message dispensé doit offrir à l'apprenant les consignes nécessaires à la construction de l'apprentissage.

2.1.2.4. Vers un modèle unitaire et cognitiviste de l'apprentissage multimédia

Tout concepteur pédagogique doit posséder un minimum de connaissances sur le fonctionnement de la cognition humaine afin de concevoir des dispositifs d'apprentissages pertinents et efficaces. De même, un SG *designer* doit connaître le fonctionnement de la cognition humaine afin de concevoir des SGs efficaces. La théorie cognitive de l'apprentissage multimédia de Mayer (2001) basée sur les trois postulats que nous venons de développer - capacité limitée de la mémoire de travail, double codage, et apprentissage actif - rend compte de ces exigences.

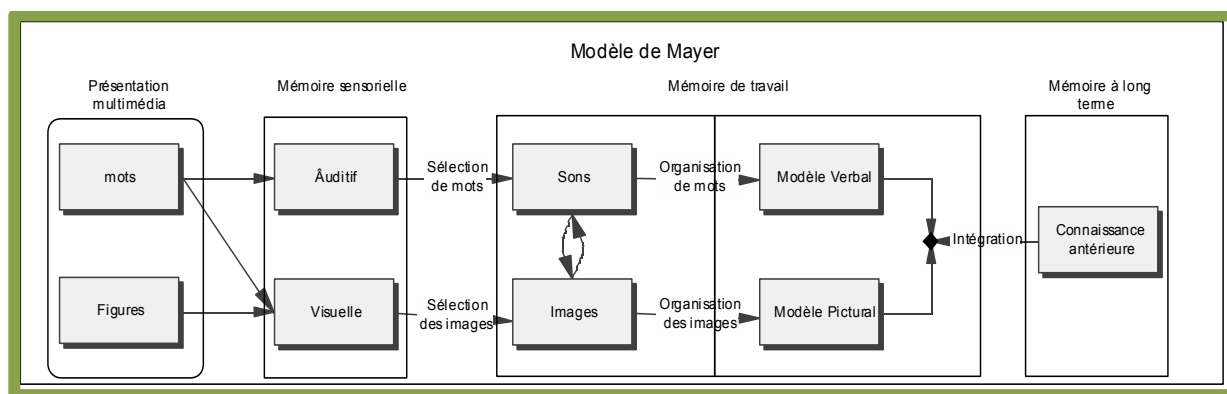


Figure 1 : *théorie cognitive de l'apprentissage multimédia (Mayer 2001)*

Afin de réaliser un apprentissage, le système cognitif de l'apprenant doit exécuter les trois activités que nous avons aussi déjà évoquées : la sélection, l'organisation et l'intégration (cf. fig. 1).

1. La première phase comporte la présentation à l'apprenant des éléments multimédia. Ici, les stimuli présentés sont de l'ordre de mots et des figures. Plus particulièrement, les mots sont potentiellement codifiés par les deux canaux sensoriels de l'audition et de la vue alors que les figures sont codifiées par le canal sensoriel de la vue.
2. La deuxième phase comprend la perception que l'apprenant fait des stimuli qui lui sont présentés. Ici, la mémoire sensorielle est mise en jeu. Le focus attentionnel investit un certain nombre d'éléments et il en néglige d'autres. Aussi, à l'issue de ce processus, une sélection d'éléments (dans ce cas de mots et d'images) sera réalisé et poursuivra le processus qu'elle est destinée à suivre dans la mémoire de travail.
3. La troisième phase de traitement de l'information multimédia se situe au niveau de la mémoire de travail. A ce niveau, les informations sélectionnées s'organisent dans le système verbal et pictural de l'apprenant, de façon à ce qu'elles fassent sens pour la personne. C'est à cette étape que se forment la compréhension, l'organisation de l'information.
4. C'est lors de la quatrième phase, que s'opère l'intégration de la nouvelle connaissance dans le système des connaissances globale de l'individu. Ici, l'information apprise vient se loger dans la mémoire à long terme.

Le modèle de Mayer que nous venons de présenter est indispensable lorsqu'il s'agit de concevoir des apprentissages multimédia car il permet de prendre en considération toutes les composantes qui peuvent en faciliter acquisition. En effet, dans la conception des contenus d'apprentissage dans le cadre d'un SG, il est indispensable de tenir compte des stratégies les plus efficaces pour le traitement et la rétention des informations. Nous reviendrons sur ces approches théoriques appliquées à la conception de LabQuest.

Dans les paragraphes qui suivent, nous allons évoquer d'autres stratégies d'apprentissage qui, additionnées à celles que nous venons de présenter, sont fondamentales pour concevoir les dispositifs de formation/apprentissage tels que les SGs. Entre-autres, nous présenterons en détail l'apprentissage par simulation et tous ses bénéfices pour la rétention des informations et l'acquisition des connaissances, mais aussi des compétences.

2.1.3. La simulation : un gain pour l'apprentissage

Il est communément admis que l'apprentissage situé et contextualisé dans un environnement favorise la rétention des connaissances (Lave & Wenger, 1991)¹². Déjà dans l'Antiquité, les grecs utilisaient la méthode dite des « *loci* » (en français, lieu) pour la mémorisation des discours à tenir dans le *forum* ou dans des pièces de théâtre. Quel est donc le rôle de l'activité de la personne dans son processus d'apprentissage ? Pourquoi la simulation semble-t-elle représenter la méthode d'apprentissage la plus appropriée lorsqu'il s'agit d'intégrer des connaissances à un niveau profond ou de développer des compétences ? Ce sont deux des nombreuses questions que nous avons vocation à approfondir dans ce paragraphe. L'apprentissage par simulation se trouvera, ici, au cœur de notre réflexion. Pour le présenter, nous ferons référence aux littératures anglophone, francophone et italophone.

2.1.3.1. Typologie des simulations

Après avoir évoqué les applications des stratégies d'apprentissage par simulation, l'objectif est maintenant d'énoncer les éléments qui les caractérisent. Landriscina (2009b) définit la simulation comme « *une représentation interactive de la réalité basée sur la construction d'un modèle ou d'un système dans lequel vous voulez comprendre une situation donnée* ». L'auteur il en souligne donc son application dans des buts de compréhension et de construction des modèles mentaux. Gueraud *et al.* (1999), font l'effort d'explicitier les objectifs qui peuvent être atteints en déclinant trois catégories de simulation amplement utilisées lors des apprentissages traditionnels et qui peuvent avoir des objectifs différents :

- La simulation pour comprendre. Dans les disciplines telles que les mathématiques et la physique, il est possible d'avoir recours à l'ordinateur comme outil de calcul. La rapidité de traitement permet de vérifier très rapidement la validité des hypothèses que nous voulons tester. Nous pouvons ainsi progresser beaucoup plus rapidement dans la mise au point d'une théorie. De plus, cette simulation numérique, peut être utilisée pour reproduire des phénomènes comme la rotation terrestre et, par conséquent, permettre la reproduction

¹² <http://www.avatargeneration.com/2012/08/the-pedagogies-in-game-based-learning/>

accélérée d'événements naturels, pour optimiser le cycle de vérification des hypothèses, augmentant ainsi la compréhension du phénomène.

- Simulation pour construire. Cette modalité de simulation permet de reproduire un nouvel objet pour en tester sa validité, avant de le construire de façon réelle. Le cas se rencontre, par exemple, dans les simulateurs de prêts financiers ou dans des logiciels de conception de prototypes d'appareil, de dispositifs techniques et de bâtiments. En ingénierie, il s'agit, par exemple, de modéliser les structures de grandes constructions selon des algorithmes mathématiques permettant d'en tester la stabilité.
- Simulation pour apprendre. Il s'agit du type de simulation le plus répandu. Elle concerne des domaines d'apprentissage divers et variés. En effet, cette stratégie de simulation est traditionnellement utilisée pour l'apprentissage et l'entraînement des pratiques médicales (manipulation d'outils chirurgicaux), pour la conduite d'engins ou d'avions (nécessité pédagogique du réalisme), pour la simulation de notions de nature scientifique¹³, ou encore pour l'entraînement à la maîtrise des situations de négociation ou de communication.

L'une des stratégies cognitives qui influence le plus l'efficacité d'un apprentissage par simulation est le « *scaffolding* cognitif » (Bacim *et al.*, 2010). Autrement dit, le support cognitif qui est fourni à l'apprenant lors de l'exercice. Il est intéressant, à ce titre, de remarquer de quelle manière nous retrouvons les mêmes bénéfices cognitifs dans les SGs. Par définition, ces bénéfices sont identifiables dans des situations idéales de simulation :

- l'exploration libre (*exploratory learning*), qui consiste en une présentation des objectifs généraux de l'apprentissage de façon située, permettant aux apprenants de choisir de façon autonome leurs activités et de fixer leurs sous-objectifs ;
- l'exploration guidée (*guided discovery*), qui comprend une présentation des objectifs pédagogiques lors de chaque activité. Les apprenants, restent libres d'explorer de façon autonome l'environnement 3D et les contenus d'apprentissage, mais leur parcours est tout de même guidé. Tous les contenus doivent avoir été consultés lors de la validation d'un module. Dans ce type de simulation, un guide et une aide sont fournis à l'apprenant tout au long de son parcours d'apprentissage ;
- l'exploration programmée (*programmed discovery*), qui consiste en une présentation d'exemples et d'indices (souvent liés à l'exploration de l'environnement de façon très situé) à partir desquels les apprenants doivent en déduire les règles et les lois sous-jacentes, par le biais d'une séquence d'étapes soigneusement programmées.

A partir d'une étude sur l'efficacité des stratégies de simulations, Rivers & Vockell (1987),

¹³ Par exemple ARCADE CAG 90 permet la simulation des phénomènes dynamiques liés à l'exécution des programmes pour l'apprentissage de l'algorithmique

observent que les apprenants ayant fait l'expérience de simulations guidées obtenaient des performances plus élevées que les étudiants ayant réalisé les deux autres stratégies de simulation. Cette donnée suggère que les apprenants améliorent leurs prestations à partir du moment où un guide leur est fourni et, qu'au contraire, une exploration complètement libre pourrait se révéler inefficace (De Jong, 2011).

2.1.3.1. Les avantages de l'apprentissage par simulation

Les avantages d'un apprentissage *via* un dispositif de simulation, par rapport à la reproduction de l'action dans la vie réelle — et donc au travers d'une reproduction virtuelle —, sont nombreux :

1. il permet de se libérer des problèmes liés à l'espace-temps ;
2. il permet de pratiquer les procédures sans mettre en danger la sécurité personnelle et/ou de tiers et/ou de l'environnement (pensons, par exemple, aux simulateurs pour les pilotes d'avion) ;
3. il permet, dans certains cas, de stimuler le processus d'apprentissage grâce à la proposition d'une situation-problème qui doit être résolue. En effet, cette offre donne à l'apprenant la possibilité de réaliser une manipulation cognitive des concepts ou des objets physiques constituant le problème.

Au même titre, Landriscina (2009b ; 2013) souligne l'importance de la simulation dans le processus de prise de décision. La simulation d'un problème de façon concrète (et située), tend à favoriser le développement des capacités d'analyses du rôle des variables impliquées et des différents scénarios possibles. De surcroît, la plus-value de l'utilisation de la simulation comme stratégie d'apprentissage relève du niveau d'opacité de la relation action/réaction. En effet, lorsqu'une variable est modifiée à l'intérieur du système, l'apprenant peut observer les conséquences de ses décisions et l'impact qu'elles ont sur l'environnement et les circonstances. Par conséquent, l'apprenant a tendance à attribuer et à déduire du système, des règles ou des lois qui peuvent (ou non) coïncider avec celles qui caractérisent réellement le système en lui-même. Bien évidemment, cette démarche n'exclut pas le risque d'un apprentissage incomplet ou erroné dans le cas où les inférences que l'apprenant fait vis-à-vis de son activité dans l'environnement sont fausses. Sur cette même idée, Seel (2012) poursuit en affirmant que *« l'apprentissage a lieu au travers de la confrontation des résultats attendus en opérant sur un système, avec les conséquences observées de sa transformation. Dans le cas où ces contradictions se vérifient, les résultats sont utilisés par l'apprenant pour corriger son propre modèle mental »*.

Pour être plus précis, un apprentissage *via* simulation est facilité par :

1. la possibilité d'avoir, pour chaque action accomplie, une réaction et des *feedbacks*¹⁴ immédiats ;
2. la pratique répétitive des gestes à des fins d'entraînement et de développement des compétences ;
3. l'intégration de différents *curricula* dans le même environnement impliquant une hétérogénéité des apprentissages ;
4. la possibilité d'articuler, de changer et d'adapter les niveaux de difficulté, souvent selon le niveau d'avancement de l'apprenant. Sur ces quatre points, Lateef (2010) rajoute des avantages que la simulation apporterait dans une optique d'éducation, notamment dans le cas où une action exécutée en réel pourrait endommager des vies humaines (dans le champ médical) ;

De plus, nous continuerons en affirmant que la simulation :

5. offre la possibilité d'aborder des événements rares ou exceptionnels ;
6. permet l'autocorrection des apprenants ; et
7. offre la possibilité de réaliser une activité dans un environnement ne comportant aucun risque.

2.1.3.1. Les apports de la simulation à la résolution de problème, au jeu de rôle et à la prise décision située

En observant les personnes en train d'effectuer une formation, un entraînement ou tout simplement une exploration d'un dispositif de simulation, il n'est pas rare de voir surgir certains phénomènes comme la verbalisation des commentaires ou des questionnements. Ces comportements relèvent du développement d'une pratique de métaréflexion, qui est, entre autre, utilisée pour la résolution de problèmes. En effet, il a été observé que, durant l'exploration d'une simulation, la personne doit souvent faire l'effort d'assumer un rôle alternatif et différent de celui qu'elle a l'habitude de revêtir. Cette stratégie d'apprentissage, le *supporting role-playing* (en français, le soutien du jeu de rôle), permet non seulement l'acceptation d'un point de vue différent mais offre, en plus, la possibilité aux apprenants d'assumer des rôles différents et variés et de développer l'accès au problème d'une manière alternative (Heinich *et al.*, 1993 ; Dabbagh, 2005), rendant par conséquent possible la résolution de la situation-problème d'un autre point de vue. Appliquant leur expérience lors d'un jeu de rôle, les apprenants gagnent en maîtrise de leurs propres compétences. En effet, le but de l'apprenant, dans cette circonstance, est l'achèvement d'une mission associée au rôle qui lui est attribué dans le scénario. En ce sens, le jeu de rôle qui se crée dans le système apprenant-simulation, lui offre la possibilité de mettre

¹⁴ *Feedbacks* traduit en français avec « retours d'informations »

en pratique ses connaissances et ses compétences dans un univers réaliste, bien que virtuel. Il est ainsi possible, pour le formateur, d'observer les résultats des actions qu'il a réalisées et qui visent à la résolution des problèmes proposés. Sur ce sujet, Dabbagh (2005) affirme que l'environnement d'apprentissage qui soutient les jeux de rôles est le plus efficace pour captiver et conserver l'attention de l'apprenant. De plus, ce processus de résolution lui permettra de développer de nouvelles compétences qui ne sont pas seulement limitées au domaine d'apprentissage ciblé, mais aussi sociales, communicatives, interpersonnelles et capables d'améliorer sa perception de l'auto-efficacité de l'apprentissage.

Comme nous l'avons déjà précisé antérieurement, lorsqu'ils sont devant des dispositifs de simulation tels que les jeux vidéo ou le SG, les utilisateurs mettent souvent en place des phénomènes de verbalisation à voix haute ; leurs raisonnements, dans la plupart des cas, visent à la résolution des problèmes qu'ils rencontrent lors de la simulation. Entre l'apprenant et la simulation, et parfois avec l'instructeur/éducateur, se crée un système poussant la personne à extérioriser son cheminement cognitif.

Le *Problem Solving* (en français, le processus de résolution de problème) est défini comme un processus de recherche euristique de mécanismes voués à la résolution d'un problème situé dans un espace confiné (Newell & Simon, 1972), ou comme une séquence d'opérations cognitives visant à la réalisation d'un but (Anderson, 1980). Cette modalité d'apprentissage met davantage l'accent sur l'enseignement des stratégies d'apprentissage (apprendre à apprendre) plutôt que sur l'apprentissage mnémonique d'une notion. En effet, dans cette approche pédagogique, l'apprenant développe ses compétences à formuler des hypothèses (concernant la manifestation de certains phénomènes) et à les vérifier au sein de l'environnement, plutôt qu'à chercher une réponse à un besoin circonscrit (Doran *et al.*, 2012). Il s'avère que, lorsque les activités de résolution des problèmes sont contextualisées — comme c'est le cas des situations simulées dans les univers virtuels des SGs —, la personne fait des hypothèses sur les relations entre les composantes du système et génère des modifications au sein de la simulation pour en vérifier la pertinence.

Pour ces diverses raisons, il est fondamental que la scénarisation des contenus pédagogiques dans le cadre d'un SG ne se focalise pas seulement sur la présentation de notions précises et finalisées. En effet, leur contextualisation, d'abord, et leur mémorisation, ensuite, ne seraient pas efficaces sur la durée. Inversement, un *storyboarding*¹⁵ qui offre moins d'éléments purement théoriques mais plus de situations problèmes visant à la construction d'un savoir basé sur un raisonnement solide, gardera davantage son efficacité dans le temps. Nous donnons un exemple de scénarisation dans le chapitre 6.4 consacré à la conception de LabQuest.

¹⁵ Traduit en français avec les termes « Scénario » ou « scénarimage »

2.1.4. Classification des *Serious Games*

Nous souhaitons maintenant prendre en considération les classifications des SGs disponibles dans la littérature. Le nombre de classifications identifiées peut donner une idée de l'étendue des orientations et tentatives d'éclaircissement d'un phénomène relativement nouveau. Par conséquent, ce paragraphe n'aura pas de fil conducteur unique, mais se présentera plutôt comme un *patchwork*¹⁶ de points de vue scientifiques, chacun affirmant sa propre légitimité.

Sawyer & Smith (2008) affirment l'existence de deux catégories de SGs : la première étant basée sur le marché, la deuxième sur les objectifs. Toutefois, Zyda (2005) avait déjà repéré cinq sous-domaines majeurs traitant de la santé, la politique, la communication, la défense, la formation et l'éducation. Diversement, Chen & Micheal (2005 ; 2006) ont classé les SGs sous la catégorie marketing, avec huit sous-domaines. En plus de ceux qui avaient été repérés par Zyda, ils y rajoutent les SGs propres aux sociétés (à des fins de marketing), à finalité religieuse et enfin ceux orientés vers l'art. Cette dernière classification trouvée une écho favorable chez Alvarez & Michaud (2008).

Bergeron (2006), propose une classification des SGs basée sur les objectifs. Il présente ainsi sept sous-domaines : les activistes, les SGs pour la publicité, de business et management, ceux de santé et médecine, ceux qui permettent d'entraîner le fitness, les SGs de propagande politique et ceux dédiés aux nouvelles. Alvarez et al. (2007) proposent six catégories de SGs à objectifs : les jeux pour l'éducation, les SGs pour la publicité, ceux dédiés aux nouvelles, les SGs pour le marché de l'éducation, ceux pour l'apprentissage et, enfin, ceux de simulation. Despont (2008) propose quatre sous-catégories : les SGs ayant comme but la publicité, ceux destinée à promouvoir les institutions, les business SG et, enfin, les *Learning Games*¹⁷. En relation avec cette dernière sous-catégorie, l'auteur propose l'existence de six finalités : augmenter la perception, stimuler les perceptions sensorielles, former, informer, enseigner et influencer.

Un autre travail très intéressant de classification a été réalisé par Djaouti et al. (2011). Le modèle auquel nous faisons référence est le *G/P/S (Game/Purpose/Scope) model* (cf. tableau 3). Ce modèle, en plus des traditionnelles catégories déjà énoncées (objectif et marché), étend son paradigme à la dimension du « *gameplay*¹⁸ ». Nous souhaitons approfondir ici de suite ses trois axes principaux.

¹⁶ Traduit en français en « travail composé »

¹⁷ Traduit en français en « jeux d'apprentissage »

¹⁸ Traduit en français avec « jouabilité »

Catégorie	Descriptions
Gameplay	Cette catégorie fait référence aux stratégies de <i>gameplay</i> utilisées, c'est-à-dire comment ce SG est joué. Cette dimension donne des informations sur la structure du jeu et sur l'interface, ainsi que sur les stratégies d'interactions homme-machine qui ont été choisies, les règles à respecter et le système d'évaluation. Ce type de SG peut se différencier en <i>Game</i> et en <i>Play</i>, le premier concerne un jeu qui est conduit dans le respect de règles strictes, le deuxième est plutôt une improvisation ou une exploration libre du jeu.
Objectif	Cette catégorie fait référence aux objectifs et aux sujets qui sont traités au sein du SG : simuler, entraîner, faire de la publicité <i>etc.</i> Trois objectifs majeurs ont été repérés : 1° la diffusion d'un message qui peut être éducatif, publicitaire, militaire ou de propagande ; 2° la formation, pour développer des compétences cognitives et motrices ; 3° l'échange de données, pour encourager les utilisateurs à partager des informations.
Cadre	Cette catégorie fait référence à la cible pour laquelle ce SG a été produit : éducation, orientation politique, santé <i>etc.</i> En ce qui concerne le cadre, nous pouvons retrouver deux catégories majeures de SGs : 1° une classification basée sur le marché ; 2° une classification basée sur le public qui est susceptible d'utiliser le SG.

Tableau 3 : modèle GPS de Djaouti et al. (2011)

2.1.5. *Serious games* et apprentissage : caractéristiques et composantes

Nous présenterons dans cette partie les caractéristiques structurales et architecturales des SGs, notamment en ce qui concerne les éléments constitutifs de cet outil d'apprentissage et qui le différencient des autres. De plus, nous soulignerons le poids de certains aspects du *serious gaming*, qui le rapprochent des jeux vidéo et qui devraient en garantir une efficacité en terme d'attractivité pour le public.

Comme l'indique son nom lui-même, le facteur qui caractérise ou, mieux, qui devrait caractériser un SG est la composante *fun, game*, le divertissement et le jeu. Cet apprentissage par le jeu doit avoir lieu de façon tout à fait transparente, au point que l'apprenant ne devrait presque pas avoir la perception d'apprendre. Les objectifs pédagogiques doivent donc être gamifiés ou ludifiés de façon à que l'utilisateur soit immergé dans l'univers et, sans aucun effort, puisse acquérir les connaissances ou les compétences visées par le dispositif. Barbosa *et al.* (2014) affirment que les meilleures pratiques pédagogiques, sont celles qui sont interprétées comme un divertissement « *the best pedagogic practices are those that are interpreted as fun¹⁹* ». En effet, les apprentissages qui se vérifient pendant le jeu ont beaucoup d'éléments en

¹⁹ En traduction française « les meilleures stratégies pédagogique sont celles qui sont interprétées comme étant un jeu »

commun avec l'approche pédagogique de résolution des problèmes. Dans ces cas, la structure narrative utilisée pour la résolution des problèmes devrait susciter, chez l'apprenant, une motivation immédiate qui le pousse instantanément à s'appliquer dans l'exercice. Cette application permettrait l'acquisition des objectifs visés par le SG.

Nous verrons que plusieurs éléments peuvent-être choisis lors de la conception et la scénarisation des SGs, afin d'atteindre les objectifs d'apprentissage qui sont fixés lors de l'analyse des besoins et de la nature de l'apprentissage.

2.1.5.1. Les mécanismes d'apprentissage

La réalisation d'un SG efficace en matière d'apprentissage nécessite l'intégration de plusieurs mécanismes d'apprentissages qui doivent préférablement être de nature hétérogène, afin de diversifier les stratégies et couvrir les habitudes d'une plus grande population d'utilisateurs. Ces mécanismes sont nombreux et peuvent être représentés par des mini-jeux, des quiz à choix multiple, des puzzles, des simulations réalistes, *etc.* Les seules limites à l'emploi et au développement de ces stratégies d'apprentissage/divertissement sont dictées par l'imagination et les limitations techniques de l'équipe qui les conçoit et qui les développe. Le concepteur doit néanmoins s'assurer de la pertinence et de l'attractivité que ces mécanismes ont vis-à-vis de la cible de l'apprentissage. Par exemple, il a été observé que les jeux d'arcades sur tablette comme « Candy Crash », qui peuvent être joués par courtes sessions (Chen, 2010; Homer *et al.*, 2012; Rideout *et al.*, 2010), intéressent davantage un public féminin alors que les jeux de simulation plus réalistes comme « Tomb Raider » ou des jeux visant la compétition (Hartmann & Klimmt, 2006) sont beaucoup plus attractifs pour un public masculin.

2.1.5.2. Les *feedbacks*

Avec *feedbacks* nous entendons toutes les stratégies de « réponse » fournies lors de l'apprentissage/jeu au sein d'un SG ou d'un jeu vidéo. En effet, les *feedbacks* sont en mesure de fournir des informations positives d'encouragement, ou négatives de dissuasion en réponse à une action accomplie par l'apprenant/utilisateur lors de son activité dans le dispositif. Ces stratégies de communication entre l'utilisateur et le dispositif de simulation peuvent être utilisées selon les objectifs d'apprentissage et les souhaits des concepteurs (ou du client). Dans le cadre d'un apprentissage de type « réaliste » reproduisant des conditions réelles, l'objectif pourrait être d'immerger l'apprenant dans un environnement qui reproduit une situation de façon sécurisée. L'emploi de *feedbacks*, au sein d'une simulation, peut être utilisé de diverses façons :

- *Feedbacks* immédiats et réalistes : comme dans le cas de l'action hasardeuse d'un pilote d'avion, qui fait immédiatement précipiter l'avion, ou encore d'une manipulation chirurgicale erronée qui a pour conséquence l'hémorragie soudaine du patient.
- *Feedbacks* différés et réalistes : comme par exemple, lors de la préparation d'un médicament, où l'éventuelle contamination d'un échantillon pourrait être ignorée dans un premier temps, mais pourrait cependant avoir secondairement comme conséquence la diffusion d'une épidémie ou la mort de patients. Cette stratégie avait très bien fonctionné dans les années 1990 avec la diffusion du « *Tamagotchi* » : si le joueur ne prenait pas soin de son animal virtuel, les conséquences néfastes pouvaient pousser le petit animal jusqu'à sa mort, sans que le joueur en soit prévenu.

D'autres approches d'apprentissages, d'orientation plus behavioriste, pourraient considérer comme plus intéressante et efficace l'utilisation de stratégies qui emploient des *feedbacks* immédiats ne devant pas nécessairement être réalistes. Dans le cadre d'un SG, qui a pour objectif d'enseigner la gestion d'une équipe, la mission de l'apprenant est de diriger son équipe d'employés à distance, de façon à garder la cohésion et d'en favoriser la productivité. Ici, l'utilisateur/apprenant est conduit à faire des choix qui peuvent avoir un impact sur la motivation et la productivité des employés. Ce modèle de SG permet à la personne de visualiser immédiatement, une fois le choix réalisé, l'impact que ce dernier exerce sur les comportements des employés virtuels (ce qui ne se vérifie pas dans la vie réelle la détérioration d'une relation de travail pouvant par exemple faire suite à plusieurs déconvenues étalées dans le temps).

De surcroît, des approches axées préférentiellement sur la simulation de dialogues, impliquent un fonctionnement basé sur des arbres décisionnels, conçus au préalable. Dans ce mécanisme, les concepteurs ont prévu la possibilité de créer des parcours de dialogues qui peuvent s'enchaîner en fonction des choix réalisés par l'utilisateur au sein de la narration. L'histoire peut être modifiée et conduite de façon différente selon la direction qui lui est donnée et les choix réalisés dans la narration. Le résultat final sera donc influencé par les choix que la personne aura réalisés lors du cheminement.

2.1.5.1. L'organisation des espaces, l'application des règles

Dans la littérature disponible nous retrouvons une catégorie de SG, les *Sand Box Serious Games*²⁰ (SBSGs) (Bellotti *et al.*, 2010) qui ont comme caractéristique principale de proposer des environnements plus ou moins réalistes présentant des situations-problèmes permettant de situer les apprentissages. Ces environnements sont caractérisés par :

²⁰ Traduit littéralement comme Jeu Sérieux bac de sable

- Une organisation des espaces et des mondes virtuels que l'utilisateur est censé explorer et dans lesquels les contenus d'apprentissage sont distribués.
- Des tâches contextualisées qui, distribuées tout au long de l'environnement, doivent être réalisées par l'utilisateur/apprenant. Chaque tâche, représente une connaissance ou une compétence qui doit être apprise afin d'acquérir un apprentissage plus global. La réalisation de ces tâches permet d'engager l'attention et l'intérêt de l'utilisateur et ainsi, d'en développer les compétences. Cependant, dans cette perspective, le concepteur doit garder à l'esprit la nécessité de bien articuler la scénarisation des tâches et des exercices proposés, pour éviter de tomber dans l'erreur de vouloir « conduire » pas-à-pas, de façon directive, l'activité de l'utilisateur. En effet, la directivité appliquée aux SGs pourrait se révéler comme une stratégie inefficace. Au même titre que les approches pédagogiques appliquées aux e-learning, l'apprentissage réalisé au moyens des SGs s'avère être plus efficace dans des situations où l'on fournit des règles pointues aux apprenants, qui peuvent être appliquées, tout en leur laissant la possibilité de découvrir d'eux-mêmes la meilleure application. Nous retrouverons une excellente confirmation de cette notion, lors de notre analyse des résultats recueillis grâce au protocole expérimental mis en œuvre pour vérifier l'efficacité du SG LabQuest (cf. chapitre 7.1).
- Les missions à réaliser dans l'environnement simulé doivent être mises en liaison avec l'environnement lui-même, en d'autres termes il faut s'assurer de la création d'une intégration des missions dans l'environnement. En effet, une situation d'apprentissage idéale devrait créer les conditions nécessaires pour permettre à l'apprenant d'inférer les sujets d'apprentissage, en examinant l'environnement dans lequel l'apprentissage se déroule. Une scénarisation bien construite peut influencer positivement l'association cognitive qui se transforme en acquisition des apprentissages. Dans cette perspective c'est proprement dans l'exploration de l'environnement que l'apprentissage se construit, en présentant des problèmes de manières situées qui doivent être résolus par l'apprenant.

2.1.5.2. Les niveaux de difficultés

L'un des avantages d'une scénarisation de l'approche par simulation au sein d'un dispositif de type SG, consiste dans la possibilité qu'offre ce dernier de progresser dans ses missions de façon adaptées au rythme de l'apprenant. L'entrée de l'apprenant dans le dispositif du jeu/apprentissage débute avec le succès consécutif à la résolution d'un problème simple et adapté. Le cheminement de l'apprenant dans le jeu a lieu de façon progressive et adaptée à la manière dont les problèmes proposés auront été résolus. Cette adaptation qui est faite selon le profil d'utilisateur a deux points de force : d'une part, elle permet de suivre l'apprentissage de la personne sans faire violence à ses capacités de progression et tout en respectant son rythme ;

d'autre part, elle permet de s'adapter aux apprenants les plus performants sans que la présence excessive d'exercices simples n'introduise un effet d'ennui (Bellotti *et al.*, 2012). Dans une perspective socio-constructiviste, nous pourrions dire, en accord avec ces auteurs, que cette manière de suivre le processus d'apprentissage et de l'adapter à l'utilisateur s'appuie sur le concept de *Zone de Développement Proximale* (Vigotsky, 1978). En effet, l'apprenant, pourra passer à la phase suivante de l'apprentissage, que lorsqu'il aura intégré le sujet ciblé par l'apprentissage au sein de ses propres structures cognitives et établi un équilibre interne.

2.1.5.3. Le *flow*

Le terme « *flow* » qui, en langue française, est traduit par le concept de « flux » ou de « zone », désigne un état mental qui est atteint par une personne lorsqu'elle est plongée dans une activité dans laquelle elle est concentrée de façon maximale. Cet état de concentration est caractérisé par un niveau d'engagement et de satisfaction considérable. Le concept de *flow* a été introduit pour la première fois par Csíkszentmihályi (1975), dans le domaine de la psychologie. Il a ensuite été repris dans les domaines plus divers allant du sport à la spiritualité, de l'éducation à la séduction. Plus récemment, ce phénomène de *flow* a été décelé et étudié dans les situations d'utilisation des technologies numériques, comme par exemple, dans les jeux vidéo (Hamdi-Kidarn & Maubisson, 2012). Dans ces circonstances, les utilisateurs semblent manifester tous les « symptômes » traduisant cet état d'immersion : le sujet fait l'expérience d'une perte de conscience de soi qui favorise la proximité et la diffusion de la conscience entre lui et le dispositif. Ainsi, la personne fait l'expérience de phénomènes de distorsion de temps et d'un épanouissement à fond hédonique (Hamdi & Maubisson, 2010). Il est évident qu'un tel état de concentration peut être considéré comme idéal en ce qui concerne la motivation de l'apprenant pour acquérir des apprentissages. Mais il peut aussi permettre l'installation d'expédients attirants, rendant la situation la plus agréable possible et conduisant à rendre l'apprentissage addictif. C'est pour cette raison que les SGs se sont révélés comme une possibilité intéressante pour concevoir des situations d'enseignements/apprentissages appréciées et appréciables par les enseignants et les apprenants. Néanmoins, plusieurs sont les facteurs d'un dispositif ayant une influence sur le niveau de *flow* : l'ergonomie de l'interface, la qualité des graphismes, les mécanismes de jeux et la ludification du dispositif en sont de bons exemples. Cependant, lors de la conception d'un SG, il est extrêmement important de réaliser des choix pertinents concernant la nature des missions, les problèmes qui sont proposés à l'apprenant, les interactions entre l'utilisateur et le dispositif et, dans certains cas, entre la communauté d'utilisateurs. Dans ce paragraphe nous n'avons pas la prétention de donner une recette magique proposant l'atteinte du *flow* lors d'une exploration ; en effet, plusieurs variables ne concernent pas seulement la qualité de la conception de l'outil alors qu'au contraire, la formation, l'état de concertation ainsi

que celui d'immersion pourraient dépendre du profil des utilisateurs. Toutefois, un effort dans ce sens a été fait par Hamdi & Maubissons, dans leurs nombreuses études concernant l'état de *flow* des utilisateurs pendant l'usage des jeux vidéo. Ces auteurs ont en effet essayé de mettre en évidence de quelle manière et dans quels cas les éléments composant une situation immersive de type « jeu vidéo » peuvent avoir une influence sur l'expérience de l'utilisateur. Nous proposons ci-dessous leur propre tableau (cf. tableau 4).

	Antécédents de l'expérience de flow	Exemples des leviers d'actions pour les praticiens
Éléments contextuels	- Cadre narratif - Caractère dynamique - Réalisme/ authenticité perçue	- Technologie employée - Contraintes spatiales - Rythme de jeu - graphismes - Mécanismes de jeu - o Contraintes et règles - o Liberté d'action, alternative
Sensorialité/ psychologie	- Focalisation de l'attention - Personnalisation - Individualisme	- Facteurs d'atmosphère du jeu dans l'environnement virtuel : - o Design (éléments centraux et périphériques) - o Ambiance (éclairage/son) - o Social (personnalisation de l'avatar autres personnages) - Condition de jeux dans l'environnement réel - o Accessoires de jeu (casque, volant)
Passion / intérêt	- Apprentissage - Implication - Equilibre défi/compétences	- Niveau de compétition perçu - Outils de jeu en groupe - Outils d'aide à l'auto-évaluation (classement/bonus) - Potentiel de personnalisation des éléments expérientiel (armes, décors, véhicules)
Psychologie idéologie	- Contrôle perçu - Socialisation - individualisme/individuation	- Normes (sociétales, sociales) - Schéma narratif, scénario - multiplier les événements - utiliser les réseaux sociaux

Tableau 4: Les composantes de l'immersivité, tiré de Hamdi-Kidarn & Maubisson (2012)

A la suite de leurs études, ces auteurs identifient des facteurs d'influence qui permettent d'activer les sensations favorables à l'expérience du *flow*. Ceux-ci sont principalement liés à des aspects matériels du contexte virtuel. Bien évidemment, la rapidité d'interaction entre l'utilisateur et la machine (l'interactivité) a un impact très positif sur la création de cette atmosphère. Au même titre, la qualité du graphisme et la fluidité des actions permettent de s'appropriier plus facilement l'environnement. Le cadre narratif, à savoir le *storyboard*, permet aussi une identification majeure de l'utilisateur vis-à-vis du scénario et une meilleure adhésion aux missions proposées. De surcroît, un utilisateur sera davantage captivé si ses passions et ses intérêts sont pris en considération lors de la scénarisation et la conception du SG. De la même manière, il est fondamental d'équilibrer la difficulté du jeu avec les compétences que l'on

souhaite développer. En effet, il s'agit de trouver le juste milieu entre plaisir du jeu, apprentissage et frustration de l'utilisateur à l'intérieur du jeu. Cette dialectique, si elle est bien dosée, peut donner comme résultat la perception, par l'utilisateur, d'un *challenge* qui le motive à avoir une activité positive vis-à-vis de la résolution des situations-problèmes. D'autres stratégies peuvent être mises en œuvre pour motiver l'investissement personnel de l'utilisateur dans l'apprentissage : la création d'une communauté de partage ou de coopération pourrait avoir une influence sur le *flow*.

2.1.5.4. Le *gameplay*

Qu'est ce que le *gameplay* ? Les concepteurs parlent de *gameplay* que la langue française traduit comme « jouabilité », mais il est néanmoins très difficile de définir exactement de quoi il s'agit. En effet, si l'on voulait être précis, nous pourrions affirmer que le *gameplay* est l'ensemble de toutes les composantes dont nous avons parlé dans les paragraphes précédents : les règles du jeu, le système de *feedbacks*, le score, l'organisation des espaces, les interactions, les interfaces et les graphismes... Le *gameplay* est donc l'ensemble des stratégies qui sont conçues dans l'objectif de constituer un sentiment de *flow* (dont nous venons de parler) et de rendre l'exploration de l'environnement virtuel la plus plaisante possible. Au même titre que le *flow*, il n'existe pas de recette univoque et infaillible permettant de guider les concepteurs et les *game designers* pendant leur activité de conception. Un *gameplay* devient efficace lorsque ses composantes internes trouvent un équilibre portant l'utilisateur à ressentir une transparence entre son désir et les actions effectivement réalisées dans l'environnement virtuel. En effet, un *gameplay* non cohérent tend à créer des conflits et des frustrations qui empêchent une activité linéaire de l'utilisateur.

Néanmoins, le *gameplay* n'est pas le seul élément qui impacte l'efficacité d'un SG. Dans le paragraphe qui va suivre nous traiterons du concept d'efficacité des SGs et essayerons notamment de lier ce concept avec les démarches ingénieriques qui sont utilisées afin de concevoir ces dispositifs d'apprentissage.

2.1.6. *Serious games* et efficacité

Quelle est la valeur ajoutée des SGs dans le développement des compétences ? Ces dispositifs de formation répondent-ils réellement aux besoins du marché ? Présentent-ils effectivement de meilleures performances en matière d'acquisition et de développement des compétences ? Pour répondre à ces questions fondamentales et légitimer l'existence de ces dispositifs d'apprentissage, nous argumenterons que l'on trouve, dans la littérature internationale (aussi bien anglophone que francophone), des études démontrant l'efficacité des

SGs comparés à des dispositifs plus « classiques » d'apprentissage-enseignement. Il sera, de plus, intéressant de comparer les SGs à des dispositifs de type « jeu vidéo », n'ayant pas pour mission de développer les compétences et les connaissances de leurs utilisateurs.

L'émergence des SGs dans la littérature scientifique, de même que l'e-learning et, plus récemment, les MOOCS, avait implicitement promis une révolution en la matière. Comme nous l'avons déjà évoqué, le lien entre l'apprentissage et le jeu n'est pas un concept nouveau : en effet, la littérature classique de la psychologie et des sciences de l'éducation ont largement démontré que les jeux, grâce à leurs propriétés simulatives, interactives et ludiques basées sur des architectures de règles qui demandent à l'apprenant un effort d'analyse, de synthèse, mais aussi de créativité, pour atteindre un certain objectif, constituaient une extraordinaire ressource capable de modifier le comportement des personnes, en facilitant l'acquisition de savoirs et le développement de compétences (Phillips, 1981 ; Piaget, 1951).

C'est grâce à la découverte de ces caractéristiques que s'est développée la tendance d'utiliser les technologies numériques, en soutien de l'apprenant dans son processus d'apprentissage : cette idée a d'ailleurs été accueillie avec beaucoup d'enthousiasme. Les expériences scientifiques portant sur des apprentissages se déroulant en phase de jeu, avaient déjà démontré que jouer avec les jeux vidéo avait un effet positif sur la modification des comportements des utilisateurs et, de façon plus générale, sur leurs habiletés. Ainsi, plusieurs études soulignent que les jeux vidéo d'action ont un effet positif sur le traitement des informations visuelles, l'énumération des objets et d'autres processus cognitifs (Green & Bavelier, 2003, 2006a, 2006b ; Oei & Patterson, 2013). Ces habiletés peuvent également avoir dans un deuxième temps, un enjeu dans les environnements non-virtuels. De plus, grâce à leurs propriétés narratives, les jeux vidéo se sont révélés comme étant des dispositifs très puissants dans les processus de persuasion. Ces stratégies ont, de fait, été très développées et utilisées notamment par la psychologie behavioriste, dans le but de modifier des habitudes (par exemple pour améliorer les soins et la prise en charge des patients *cf.* Baranowski & Buday, 2008) ou encore, pour influencer des jugements de valeur ainsi que comme expédients pour influencer le comportement pro-social (Triberti *et al.*, 2015 ; Weaver & Lewis, 2012).

La question est donc de savoir quelle est réellement l'efficacité de cet outil dans l'acquisition des connaissances et le développement des compétences. Une littérature scientifique plus récente, sur ce type de dispositif, est devenue suffisamment consistante pour permettre la réalisation d'une étude transversale axée sur les études disponibles, dans le but de l'analyser et de proposer une confirmation ou une infirmation de son éventuelle efficacité. A ce titre, Girard *et al.* (2013) ont réalisé une méta-analyse donnant accès aux jeux numériques pour l'apprentissage. D'après leurs résultats, sur neuf études, seules trois ont démontré des effets

positifs sur l'apprentissage *via* les jeux vidéo pour l'échantillon qui avait été confronté à un groupe de contrôle. A la suite de cette observation, les auteurs sont parvenus à la conclusion que, contrairement à leurs précédentes hypothèses, le nombre d'études portant sur l'efficacité des SGs n'était pas encore suffisant pour pouvoir en déduire une conclusion univoque. Néanmoins, cette étude a permis de mettre en évidence le fait que les SGs pouvaient se différencier principalement selon deux grandes catégories :

1. le type de jeu (stratégie, entraînement des activités cognitives, aventure, *etc.*) ;
2. les compétences qu'ils entraînent (par exemple, des gestes de chirurgie, le combat militaire, l'analyse d'une situation-problème, le management d'entreprise, *etc.*).

Ce résultat est quelque peu nouveau par rapport aux catégorisations qui avaient été faites auparavant, notamment celui de rejoindre le concept de compétence.

Une autre méta-analyse concernant l'efficacité des SGs (Connolly *et al.*, 2012) a fourni une pléthore de résultats au niveau des comportements et des apprentissages résultants, y compris au niveau de l'acquisition des connaissances, des conséquences perceptives et cognitives, aussi bien qu'émotives, motivationnelles, affectives, physiologiques et sociales. Un résultat très intéressant et très surprenant, a été annoncé à la suite de cette revue sur la question. En effet, les données ont démontré que les jeux vidéo (commerciaux et divertissants) sont globalement plus efficaces pour l'amélioration des habiletés des utilisateurs, mais seulement dans le cas où ils étaient comparés aux effets des SGs qui avaient été conçus spécifiquement à des fins d'apprentissage. A ce titre, les auteurs ont remarqué que si, d'un côté, les jeux vidéo offraient un environnement virtuel immersif et challengeant, les SGs ne proposaient rien de plus excitant que des puzzles et des vidéos et, dans le meilleur des cas, des QCM assez limitées concernant les stratégies de simulation employées. La conséquence étant que les jeux vidéo présenteraient une corrélation plus élevée avec le développement de compétences dans le traitement des informations cognitives.

Aussi, argumentons-nous dans la même direction que celle des auteurs qui attribuent cette contre-productivité des SGs à un manque d'ingénierie pédagogique à un moment ou à un autre du processus de conception de ces dispositifs. En effet, pour qu'elle soit pertinente, la conception des SGs devrait disposer d'une connaissance améliorée des stratégies d'apprentissage, de la simulation et donc des possibilités techniques éligibles afin d'être employées pour le *design*. Il nous semble toutefois important de ne pas négliger la composante « *game* » afin de l'intégrer au sein de l'apprentissage.

Cependant, plusieurs avantages dérivant de l'utilisation des SGs ont été repérés pour l'apprentissage. En effet, certains auteurs ont observé que les SGs (au même titre que les jeux vidéo) supportent le développement de compétences particulières qui incluent les stratégies

d'analyse de l'espace, de vision sélective et de compétences psychomotrices (Mitchell & Savill-Smith, 2010). D'autres soulignent l'amélioration, chez des sujets utilisant les SGs, de la résolution de problèmes et d'optimisation de leur mémoire à long et court terme (Michael & Chen, 2006). Ils soulignent parallèlement, un progrès dans leurs habiletés sociales et d'auto-efficacité.

Ce bref état de l'art concernant l'efficacité des SGs en matière d'apprentissage, nous donne la possibilité d'identifier des perspectives pour de futures recherches portant sur le même sujet. En effet, si d'un côté nous n'avons pas assez de recul pour pouvoir réaliser des méta-analyses qui confirment ou non l'efficacité des apprentissages réalisés avec les SGs, de l'autre, nous pouvons avancer l'hypothèse qu'il est nécessaire de reconsidérer les figures professionnelles qui participent au processus de *serious game design*. En effet, en accord avec d'autres auteurs s'étant intéressés aux stratégies de conception des SGs, il serait envisageable de repenser l'ingénierie pédagogique (*instructional design*) utilisée pour la conception de ces dispositifs d'apprentissage, sans oublier les figures professionnelles expertes d'apprentissage et de stratégies pédagogiques qui s'occupent d'intégrer les objectifs et les contenus pédagogiques au sein de la simulation (Kapralos *et al.*, 2013). Pour ces raisons, nous soutenons l'importance de prendre en considération le rôle des éducateurs dans le processus de *game design*, qui assigne à l'expert pédagogique une mission fondamentale — celle de l'ingénierie pédagogique —, en le mettant au centre de ce processus. Nous expliquerons ce modèle d'ingénierie pédagogique (PEGADE, *PEdagogical GAmE DEsign*) dans le chapitre (6.2).

2.2. Concevoir des situations d'apprentissage : l'indentification des objectifs pédagogiques

La conception des dispositifs de formation n'est pas une problématique circonscrite à ceux qui utilisent les technologies numériques. Bien au contraire, n'importe quelle formation, afin d'aboutir à un réel apprentissage, nécessite une ingénierie pédagogique *ad hoc* qui vise les objectifs qui ont été préalablement fixés. Dans ce paragraphe nous allons parcourir les théories de l'apprentissage pour comprendre quelles sont les approches pédagogiques traditionnellement employées. Il est évident qu'une approche pédagogique n'est pas forcément plus efficace qu'une autre : bien au contraire, chacune d'entre elles peut être intégrée et harmonisée avec d'autres selon les objectifs visés par l'enseignement. Au même titre, pour la conception d'un SG, il est fondamental, d'une part, de réaliser une étude des objectifs et des contenus pédagogiques susceptibles d'être enseignés aux apprenants et, de l'autre, de les adapter au contexte d'apprentissage. Il se trouve que les approches traditionnelles peuvent bien s'y prêter.

Toute personne a fait l'expérience, au moins une fois dans sa vie, d'un apprentissage inadapté. Ainsi, pour apprendre à conduire, les instructeurs nous ont tout d'abord fait apprendre par cœur le code de la route puis ils ont testé nos connaissances à l'aide d'un questionnaire à choix multiples (QCM). Dans d'autres circonstances, les enseignants de l'école, nous ont obligé à apprendre par cœur des dates d'événements historiques sans que nous ne comprenions l'importance et les enjeux réels de ces dernières. Ces situations se retrouvent aussi dans le milieu pharmaceutique. En effet, dans les formations visant l'apprentissage du métier en zone aseptique, les personnes doivent souvent apprendre des procédures faisant référence à des normes abstraites, sans qu'aucune référence au travail concret ne soit établie. Cette situation a comme conséquence que les employés ne comprennent souvent pas les vrais enjeux ni l'intérêt et l'importance d'appliquer ces normes à leur travail. Le problème que nous avons identifié semble résider dans la non-adaptation des stratégies pédagogiques aux objectifs d'apprentissage visés, au même titre que l'on ne peut pas apprendre à faire du vélo en regardant des images. En effet, depuis l'exposé de son principe, nous affirmons l'importance d'appliquer des stratégies d'apprentissage dans l'action pour l'acquisition des gestes professionnels propres à la spécificité du métier. Toutefois, dans une situation comme celle du travail en environnement aseptique, où l'action n'est pas envisageable, la simulation trouve tout son intérêt. La première étape pour la conception de cette formation par simulation, consiste donc en l'identification des objectifs.

Dans ce chapitre nous présenterons les différentes approches pédagogiques pour la conception des situations d'apprentissage. Nous soutiendrons la nécessité de connaître ces approches pour pouvoir les employer ou les écarter de façon arbitraire et réfléchie en vue de la conception d'un apprentissage. De plus, nous expliquerons quels sont les enjeux de ces théories pour la conception d'un nouvel outil d'apprentissage et notamment comment ces modèles peuvent –éventuellement- être repris pour la conception des SGs.

Enfin, pour chaque approche, nous essayerons d'énoncer leurs apports, ainsi que leur influence sur les choix qui ont été pris tout au long de la conception de notre SG.

2.2.1. L'apprentissage par instruction ou l'enseignement programmé

L'apprentissage par instruction, que nous entendons plus précisément dans son acception d'« enseignement programmé » (par l'utilisation de l'ordinateur), est une approche pédagogique très directive et explicite qui vise à la modification dans un bref délai des comportements et des connaissances procédurales. En effet, cette modalité d'apprentissage est utilisée lorsque l'on enseigne pas à pas à quelqu'un la réalisation d'une procédure qui doit être méticuleusement respectée afin d'atteindre un but précis. Par ailleurs, l'« apprentissage par instruction » a été amplement développé dans le cadre de l'acquisition des compétences dans des formations

assistées par l'ordinateur. L'utilisation d'un environnement numérique fait que cette approche soit dénommée plus précisément « enseignement programmé ». Dans ce cas, au lieu d'être réalisés « en réel » les gestes sont reproduits par un logiciel qui guide l'apprentissage dans une perspective d'« essai-erreur ». Cette approche de l'apprentissage est très largement diffusée dans les professions médicales, notamment pour l'apprentissage de gestes fins et de manipulations complexes (à savoir, les opérations de chirurgie les plus communes comme celle de suturer une blessure). Les apprentissages par instruction se font de façon essentiellement institués et explicites ; leur but est d'enseigner à l'apprenant une procédure (un enchaînement de tâches) ou une stratégie de résolution de problème, scindés en petites unités, en le guidant pas-à-pas. C'est le cas, par exemple, des théorèmes d'algèbre et de géométrie (le théorème de Pythagore $a^2 + b^2 = c^2$ est expliqué aux élèves avec la décomposition de la procédure en plus petites unités de résolution de l'aire des carrés construits sur les côtés) : l'apprentissage explicite sert, d'une part, à rendre transparentes les notions (les règles arithmétiques et géométriques) sous-jacentes à la discipline et, d'autre part, il permet à l'enseignant de s'apercevoir des éventuelles lacunes et des incompréhensions des apprenants pour pouvoir par palliers les reprendre les uns après les autres, de façon à rendre explicite un apprentissage implicite.

L'apprentissage des procédures peut avoir lieu de façon différente selon l'objectif que l'on s'est préfixé. Apprendre à conduire une voiture ou à circuler à vélo requiert l'accompagnement d'un tuteur qui contrôle et dirige, de façon plus ou moins directive, l'activité de l'apprenant tout en lui laissant une certaine liberté pour qu'il puisse lui-même explorer la situation d'apprentissage.

Ce scénario est moins vrai dans l'apprentissage d'autres types de procédures qui exigent, à fin de réussite, un respect méticuleux de ces dernières. C'est le cas, par exemple de la préparation de recettes pour un cuisinier, la réalisation d'un dosage pour des analyses biologiques ou l'exécution d'une procédure dans le cas d'une intervention chirurgicale

D'autres approches pédagogiques préconisent de diriger l'apprenant pas à pas, de façon explicite et directive, pour la réalisation d'une procédure qui devra être apprise « par cœur ». Musial *et al.* (2012) appellent cette stratégie « processus de compilation » car l'apprenant exécute la procédure en réalisant des tâches plus élémentaires qui lui sont dictées progressivement. Cette approche pédagogique puise ses fondements théoriques dans les théories behavioristes qui visent le conditionnement comportemental des apprenants en vue de l'aboutissement d'un objectif. Le principe de cette méthode, successivement repris pour les enseignements programmés et par les machines à enseigner (Bruillard, 1997), consiste à présenter progressivement à l'élève une matière d'apprentissage très découpée de façon à

susciter de nombreuses réponses, qui sont aussitôt sanctionnées par une information en retour et suivies éventuellement par un autre renforcement. En soutien de l'apprentissage programmé, Skinner (1958) met en avant les caractéristiques qui rendent cet apprentissage avantageux pour l'élève :

1. à la différence des cours magistraux, des manuels et des supports audio-visuels habituels, la machine permet un échange continu avec l'élève qui est donc continuellement en éveil et actif ;
2. au même titre qu'un bon enseignant, la machine s'assure que chaque point de la matière enseignée soit parfaitement compris avant de passer à l'étape suivante. Les cours magistraux et les manuels ne sont pas en mesure d'assurer le suivi de l'élève ;
3. la machine traite à un moment donné, une seule information ou un seul objet d'apprentissage, donc ce que l'élève est préparé à faire ;
4. la machine aide l'élève à reproduire la réponse correcte ; elle y arrive grâce au découpage de la matière enseignée en petites parties présentées, au moment propice, à l'apprenant ;
5. la machine renforce la réponse correcte en utilisant un *feedback* immédiat, non seulement pour modéliser son comportement mais aussi pour le maintenir en vigueur.

Pour qu'il soit efficace, un enseignement programmé exige le découpage de la matière à enseigner en fragments successifs les plus petits possibles. Au même titre qu'un didacticiel, ou qu'un tutoriel, l'ordinateur pourrait demander à la personne d'exécuter une série de tâches (cognitives ou physiques).

Crowder (1959) propose une critique au modèle de l'apprentissage programmé de Skinner. Il estime que, même dans le cas d'une progression pas à pas de l'instruction, la réussite à ces épreuves peut toujours ignorer les aspects liés à l'apprentissage profond et, par conséquent, laisser intacts des modes de raisonnement erronés qui représentent une manière inadéquate ou vicieuse d'organiser les informations. De ce fait, l'auteur dénonce l'impossibilité de la part de la machine d'évaluer la pertinence de la réponse qui a été donnée par l'apprenant. En effet, l'élève pourrait avoir trouvé la solution sous l'effet du simple hasard ou alors avoir inféré des règles qui peuvent être confuses ou adaptées mais qui, en réalité, ne sont pas celles qui permettent de résoudre le problème. Pour ces raisons, Crowder souligne la nécessité de laisser se manifester l'erreur pour permettre à l'apprenant de l'apercevoir puis de la traiter et la corriger. Indépendamment du fait qu'une réponse correcte soit donnée ou non, la machine devrait fournir une explication à la réponse donnée par l'apprenant avant d'archiver le résultat.

L'enseignement assisté par ordinateur, de type tutoriel (ou skinnerien) vise à optimiser l'efficacité de l'enseignement. Dans cette situation, chaque action peut être perçue et

potentiellement transformée en variable susceptible d'être observée et mesurée. Dans ce but, un comportement complexe, mis en œuvre par l'être humain - et qui est donc influencé par des variables explicites et implicites - ne peut pas être pertinemment évalué par une machine proposant uniquement une interaction de type essai-erreur. Pour cette raison, ce ne sont pas tellement les contenus des méthodes de type « tutoriel » qui sont critiqués que le fait que, dans cette forme d'apprentissage, l'intelligence de l'apprenant n'est pas stimulée de manière à ce qu'un vrai apprentissage puisse se développer. C'est pour cela que l'on conseille une médiation pédagogique ou l'utilisation de l'outil comme support d'apprentissage.

2.2.1.1. Intérêt de l'approche par instruction pour la conception du *serious game*

Pour la conception du SG LabQuest, nous nous sommes rendus très rapidement compte des problèmes qu'un enseignement programmé pouvait représenter pour les utilisateurs. Cette observation a été possible à deux moments différents :

1. lors du test d'utilisabilité, les personnes qui effectuaient le tutoriel se trouvaient sollicités par un nombre très important d'informations qui leur permettaient d'apprendre à manipuler l'environnement virtuel ; nous avons néanmoins observé que le fait d'avoir « obéi » aux commandes ne garantissait pas une aisance dans l'utilisation de l'outil ;
2. lors de la résolution de la deuxième mission « changement de la boîte de Pétri » (*cf* chapitre 7.2.2.3) aucune différence significative n'a été observée entre les sujets ayant réalisé les deux formations ; à la différence de la première « nettoyage d'une surface », cette première mission guidait l'apprenant pas à pas dans la reproduction de la procédure.

Nous argumenterons le choix des exercices lors d'un SG ainsi que celui des mécanismes d'apprentissage et nous expliquerons lors de la discussion de résultats (*cf* chapitre 7.2.7), en quoi l'apprentissage par instruction ne montre pas son efficacité dans le cadre d'un apprentissage par simulation de type SG.

2.2.2. L'apprentissage par objectifs

Le concept d'objectif pédagogique a été développé entre les années 50 et 60 afin de donner plus de rigueur aux dispositifs de formation (De Landsheere & De Landsheere, 1984). Un *objectif pédagogique* se définit comme ce que l'apprenant devrait être en mesure d'avoir acquis ainsi que les comportements qu'il devrait être en capacité d'accomplir à l'issue de la formation. Le développement du concept d'objectif pédagogique et de ses applications opérationnelles a été

nécessaire afin de planifier méthodiquement une activité de formation, en raison d'une augmentation exponentielle du nombre d'étudiants et des disciplines enseignées dans cette période historique. Il devenait en effet nécessaire de choisir les méthodes d'apprentissage aux objectifs fixés, mais aussi d'évaluer de façon plus pertinente celles qui semblaient être les meilleures (Nguyen & Blais, 2007).

Les premières manifestations de cette approche se retrouvent, une fois de plus, dans l'approche *behavioriste* de Skinner : en effet, lors de ses expériences sur des rats, il avait observé comment l'animal apprenait à utiliser un dispositif lui permettant de s'auto-délivrer de la nourriture. L'objectif d'apprentissage visait ici que l'animal apprenait par lui-même à s'auto-administrer de la nourriture pour assurer sa survie.

Des études plus approfondies portant sur l'approche par objectifs ont été menées par Bloom *et al.* (1971), afin de décrire les combinaisons d'activités intellectuelles qui peuvent être mises en jeu lors d'un apprentissage. Pour Bloom l'objectif pédagogique est une assertion claire de ce que l'action éducative doit offrir comme résultat cognitif chez l'apprenant. Ces objectifs éducationnels peuvent être classés au sein d'une taxonomie d'activités intellectuelles. Néanmoins, lors de la conception de l'apprentissage, l'ingénieur pédagogique doit définir quels résultats il veut obtenir. Cette stratégie comporte :

- la définition et l'indentification de comportements finaux que l'on veut développer chez l'apprenant ;
- la description du comportement final que l'on souhaite développer ;
- la définition de la liste des critères qui sont jugés acceptables pour la réalisation d'une performance. Cette performance doit être soigneusement écrite, voire décomposée en tâches ou actions unitaires. Le résultat de cette description sera une procédure détaillée ;
- la définition et l'explicitation des objectifs ;
- la mise à disposition des apprenants des toutes les informations nécessaires relatives aux objectifs d'apprentissage, de façon à rendre l'apprenant autonome dans son processus d'apprentissage.

Clark & Chopeta (2004) ont identifié cinq objectifs d'apprentissage de nature hétérogène qui seraient à la base de la constitution des enseignements. Il s'agit de :

- faits : à savoir d'un élément théorique spécifique ou d'une donnée comme, par exemple, la date de la prise de la Bastille le 14 juillet 1789 ;
- concepts : c'est-à-dire d'un ensemble de mots ou d'idées qui sont connus en tant que phénomène unitaire et reconnus par une certaine catégorie de personnes qui partagent le même lexique et la même expérience. Les concepts peuvent avoir deux natures : concrète et abstraite. Un concept concret peut être « la vitesse de croisière » : en effet il s'agit d'un

phénomène connu par les personnes qui connaissent la navigation. Ce concept inclut une série de paramètres comme la direction du vent, le courant maritime *etc.* Un concept abstrait, celui de « l'évolution » qui s'appuie sur une série de lois telles que celles de la reproduction, de la probabilité statistique et de la lutte pour la survie, indispensables pour sa compréhension ;

- processus : c'est un flux d'évènements ou d'activités qui décrit la relation entre deux ou plusieurs objets. Il existe deux typologies de processus : le processus business et le processus technique. Le premier décrit la façon dont le travail doit être effectué ; par exemple, avant d'écrire des nouveaux e-mails, il est nécessaire de répondre aux anciens ; le deuxième décrit le processus technique ; par exemple, pour faire démarrer la voiture, il faut actionner la clef de contact ;
- procédures : il s'agit d'une description pas-à-pas des actions nécessaires pour réaliser correctement une mission. Il existe deux versions : linéaire ou ramifiée. La première désigne une procédure standard qui ne demande pas de prise de décision, alors que la deuxième peut comporter une prise de décision de la part de la personne et, par conséquent, la possibilité de choisir l'une ou l'autre voie pour la résolution d'un problème ;
- principes : il s'agit des lignes-guides ou des paramètres qui influencent un système ou une situation. Ces principes déclarent ce qui doit être fait mais aussi ce qui ne doit pas l'être. Ils permettent de faire des prédictions et d'anticiper les implications d'un certain phénomène et d'en inférer les causes. Ces mêmes principes sont construits sur des relations de cause et sur des modèles théoriques.

De Landsheere (1976) avait indiqué que tous les objectifs pédagogiques n'avaient pas le même degré de précision. En effet, trois niveaux peuvent être distingués :

- le but : c'est« [...] *un énoncé définissant de manière générale les intentions poursuivies par une institution, une organisation, un groupe, un individu à travers des programmes ou actions de formation.* » (Hameline, 1979) ;
- l'objectif général : il s'agit d' « *un énoncé d'intentions pédagogiques décrivant en termes de capacité de l'apprenant l'un des résultats escomptés d'une séquence d'apprentissage* ». « *Son sens est limité à un champ restreint : ce à quoi va aboutir, dans des conditions déterminées, l'activité de l'apprenant.* » (Hameline, 1979) ;
- l'objectif spécifique (ensuite renommé opérationnel) : il est issu de la démultiplication d'un objectif général en autant d'énoncés rendus nécessaires pour que quatre exigences opérationnelles soient satisfaites.

Selon cette approche, un apprentissage ou un parcours de formation doit : 1°) décrire de façon univoque le contenu de l'intention pédagogique, 2°) décrire une activité de l'apprenant

identifiable par un comportement observable, 3°) mentionner les conditions dans lesquelles le comportement souhaité doit se manifester, et 4°) indiquer à quel niveau doit se situer l'activité terminale de l'apprenant et quels critères serviront à évaluer le résultat.

Parmi les approches des pédagogies par objectifs, nous souhaitons en prendre en considération quelques unes, de façon à pouvoir les contextualiser par rapport à l'opérationnalisation que nous en avons fait pour la conception du SG.

2.2.2.1. La taxonomie de Bloom

La taxonomie de Bloom est un modèle de classification de la pensée multi-niveaux. Elle s'applique aux trois sphères qui caractérisent l'être humain : la cognition, les émotions et le développement moteur. Taxonomie est un terme qui signifie classification. Par ce terme Bloom (1956) soutient que les objectifs d'apprentissage sont organisés de façon hiérarchique. En effet, un développement cognitif, affectif ou psychomoteur efficace exige l'acquisition des niveaux sous-jacents. Bloom réalise cette taxonomie, d'une part, en décrivant les activités intellectuelles qui sont susceptibles d'être réalisées lors d'un apprentissage pour les classer ensuite dans une architecture hiérarchisée. Chaque objectif d'apprentissage est ainsi relié à un processus d'élaboration cognitive, mais aussi affective et psychomotrice.

La *sphère cognitive* (cf. tableau 5) fait référence aux compétences mentales et à l'acquisition des connaissances (Bloom, 1956). Ces compétences incluent la mémorisation des notions ou la répétition de procédures ou le développement de certaines habiletés intellectuelles. Ces compétences sont organisées hiérarchiquement de la plus simple à la plus complexe en six catégories : la connaissance, la compréhension, l'application, l'analyse, la synthèse et l'évaluation.

Niveau d'expertise	Description
Connaissance	La connaissance est l'activité cognitive qui consiste à se rappeler et reconnaître des informations ou des notions plus ou moins dans le même ordre dans lequel elles ont été apprises.
Compréhension	La compréhension consiste dans une réélaboration des informations acquises et dans l'attribution d'un sens personnel et pertinent de la part de l'apprenant des informations qui lui sont offertes.
Application	L'application consiste dans l'utilisation des informations apprises pour résoudre des nouvelles situations problèmes analogues à celles qui ont déjà été rencontrées.
Synthèse	La synthèse permet de prendre en considération des éléments hétérogènes du système (probablement acquises en des moments différents de la vie) et de les mettre en relation entre eux de façon à avoir une production originale qui permet de résoudre une situation.
Évaluation	L'évaluation est une activité qui permet de juger une situation en appliquant des catégories, des échelles de valeur et critères acquis dans les étapes précédentes d'activité cognitive.

Tableau 5: Classification de la sphère cognitive

La *sphère affective* (cf. tableau 6) fait référence au développement émotionnel de la personne en relation avec les autres.

Niveau d'expertise	Description du niveau	Comment il est possible de l'évaluer
Recevoir	Démonstration d'une volonté de participer à l'activité sociale.	L'apprenant est attentif au cours, il n'exécute pas d'activité en parallèle pendant le cours. L'apprenant se montre respectueux pendant le cours.
Répondre	La personne montre intérêt pour l'objet d'apprentissage même en dehors de la situation d'apprentissage. Il est participatif.	La personne fait des recherches complémentaires sur le sujet. La personne présente ses recherches et ses sujets d'intérêt.
Considérer	L'apprenant évalue une personne ou un phénomène sur la base d'un système interne de valeurs qui se sont constitués. Ces positions peuvent être reconnues d'après son comportement.	La personne se montre ouverte et démocratique, elle est sensible aux différences culturelles et individuelles. Elle montre ses habiletés de résoudre des problèmes. Elle est capable de parler de sentiments et points de vue par rapport aux situations rencontrés.
Organiser	L'apprenant considère les opportunités selon l'importance qu'il lui attribue. Il est en mesure de résoudre les conflits entre les informations et de justifier les écarts. L'accent porte sur l'évaluation, la comparaison et la synthèse entre les éléments.	La personne reconnaît le travail dans un équilibre entre liberté et comportement responsable. Elle est capable d'expliquer les rôles des éléments pour la résolution des problèmes. Elle accepte les règles éthiques qui caractérisent sa position. Elle est capable de créer sa propre vie en harmonie avec ses intérêts, ses priorités, ses affects, sa famille.
Internalisation des valeurs	La personne a enfin développé le panel de valeurs qui contrôlent son comportement. Un comportement stable et prévisible (pour les autres) est une base très importante pour pouvoir construire des apprentissages.	La personne est capable d'organiser son propre travail et de sentir une responsabilité pour l'aboutissement de celui-ci. Elle est capable de travailler en groupe et d'utiliser des approches objectives de <i>problem-solving</i> . Elle est capable de re-orienter ses valeurs (dans le cas où elle juge une incohérence) et de réadapter son point de vue.

Tableau 6 : Classification de la sphère affective

La *sphère psychomotrice* (cf. tableau 7) fait référence au développement manuel et aux compétences physiques.

Niveau d'expertise	Description du niveau	Comment il est possible de l'évaluer
Perception	Il s'agit de la capacité d'utiliser l'activité motrice.	La personne détecte la communication non verbale. De plus, elle arrive à coordonner son corps et ses mouvements quand il s'agit d'atteindre un objectif moteur comme prendre une balle. Encore, elle est capable d'ajuster un chapeau ou un pull-over quand il sent froid.
Solidification	La personne a une réactivité optimale à des <i>stimuli</i> physique, émotionnels et mentales.	La personne agit dans une séquence d'actions tout le long d'un procès. Elle reconnaît ses habiletés et ses limites. Elle est capable de montrer qu'elle désire apprendre un nouveau processus.
Réponse guidé	La personne est en mesure d'imiter une procédure et d'identifier une erreur. Elle est capable d'améliorer la réalisation d'une procédure et de la répéter.	La personne est capable de résoudre une équation comme elle lui a été expliquée. Elle est capable de donner des signes et des <i>feedbacks</i> à son enseignant pendant l'apprentissage.
Mécanisme	Dans cette phase, la personne apprend à réaliser des mouvements standard qui devront être réalisés pour chaque situation analogue. Ils sont est à la base de l'apprentissage des procédures plus complexes.	La personne apprend à utiliser des procédures complexes comme le fait de conduire une voiture, utiliser un ordinateur.
Réponses ouvertes et complexes	La personne apprend à combiner entre elles de procédures complexes. La performance devient précise, rapide et parfaitement coordonnée.	La personne apprend à jouer du piano et se perfectionne dans cette compétence.
Adaptation	Les compétences procédurales sont ici bien maîtrisées. La personne peut les modifier afin d'apporter des variantes.	La personne peut employer une procédure pour faire quelque chose qui n'était pas prévu. Par exemple conduire une voiture pour réaliser une chorégraphie.
Invention	La personne crée des nouveau mouvements selon la situation dans laquelle elle se retrouve.	La personne peut créer sa propre gymnastique ou son propre programme de training personnel. Ou alors il peut devenir chorégraphe d'un ballet.

Tableau 7 : Classification de la sphère psycho-motrice

Après avoir explicité les objectifs d'apprentissage, le but est de comprendre comment ces six habiletés peuvent être évaluées lors d'une performance réalisée par un sujet apprenant. Six stratégies d'évaluation en dérivent.

Niveau d'expertise	Critères d'évaluation
Connaissance	A ce niveau, l'évaluation est finalisée à partir de la vérification des compétences mnémoniques. Pour cette raison, les épreuves se résolvent généralement dans l'utilisation de la part de l'enseignant de stimuli qui installent les élèves dans des processus de sélection en rapport à un cadre défini de connaissances qui s'étalent de simples contenus à des théorisations plus articulées, méthodologies et classifications. Pour donner un exemple, le professeur de chimie demandera à ses élèves de connaître par cœur le nom des éléments sur la table périodique (Fer = Fe, Hydrogène = H), mais il demandera également de connaître le processus d'oxydation du fer au contact avec l'hydrogène et l'oxygène. Le fait de connaître ces formules par cœur ne garantira pas une application correcte de celles-ci dans le cadre d'une résolution d'un problème. En effet, l'étudiant saura répondre à la question « quelle est la formule de l'oxydation du fer ? », mais il ne saura peut être pas transférer le même processus à un autre métal. De même, il pourra être demandé à un enfant de 6 ans d'apprendre par cœur une poésie. L'enseignant qui lui aura demandé de la réciter, avec cette épreuve, ne pourra pas vérifier que l'enfant ait compris la signification des mots récités dans le poème. Il est fort probable (comme il est courant dans les premières phases de l'apprentissage des langues étrangères) que l'enfant ait appris la phonologie des mots et des phrases sans en comprendre la narration ou les sujets inclus.
Compréhension	Cet objectif pédagogique vise à vérifier la capacité de l'élève à comprendre ce qui lui est communiqué et de l'utiliser sans être obligé d'avoir recours à des contenus ou à des critères qui sont en dehors de l'objet de la communication. Si l'on pense, par exemple, à l'interprétation de la trame d'un texte, l'objectif pédagogique vise d'abord à la compréhension de la narration, les éléments chronologiques présentés, les caractères des personnages <i>etc.</i> Le résultat de la compréhension de ces éléments de la part de l'apprenant devrait être l'interprétation du texte et l'éventuelle attribution d'un sens personnel à la narration. Si l'on prend l'exemple d'un livre simple comme « Le petit prince » de Saint Exupéry (dont la plupart des personnes en on fait la lecture à différents âges) on peut remarquer que, selon les âges, la compréhension, l'interprétation et l'attribution de signification se fait à différents niveaux : les plus jeunes recueilleront les enchaînements des péripéties du personnage, alors que les adultes y liront une signification profonde liée au sens de la vie et à l'importance des relations entre les humains et de la préservation de la planète terre. Ici, nous pouvons y trouver différents niveaux de compréhension et d'interprétation liés à l'expérience de vie de chaque personne en fonction de son âge.
Application	L'évaluation vise à mettre en évidence la capacité de la personne à aborder et résoudre, dans le cadre de différents processus opérationnels, des problématiques concrètes concernant l'importance d'appliquer une norme ou des principes déjà acquis, sur l'application de modèles théoriques intégrés pendant les précédents niveaux d'apprentissages et dans les différentes situations déjà appliquées. Pour donner un exemple, pour réussir à l'examen d'obtention du permis de conduire, l'apprenant doit avoir intégré la théorie concernant l'usage des différentes commandes de la voiture mais aussi les normes du code indispensables pour avoir une bonne conduite vis-à-vis des autres conducteurs et des personnes présents sur la route. Enfin, ces connaissances doivent être intégrées pour permettre à la personne de ne pas devoir faire un effort de mémoire pour se souvenir des notions pour réaliser ou exécuter un exercice ou, au contraire, pour développer des réflexes comportementaux employables en toute situation.

Niveau d'expertise	Critères d'évaluation
Analyse	Cet objectif pédagogique permet d'évaluer la compétence de la personne de se repérer à l'intérieur d'une structure complexe pour en identifier les éléments fondamentaux et pour expliciter la relation, souvent implicite, qui s'est installée parmi ces derniers. Ceci est, par exemple, le cas du diagnostic fait par le médecin suite à la visite d'un patient qui se lamente d'une douleur ou d'un problème de n'importe quelle sorte. Un diagnostic bien exécuté, suite à l'analyse des symptômes du patient, peut résoudre le problème. L'exemple peut également s'adapter dans le cas d'une panne d'ordinateur, électrique, pour la résolution d'un crime, la résolution d'un problème algébrique ou pour une simple situation-problème concernant quel chemin prendre et combien de temps prévoir pour se rendre de son lieu d'habitation jusqu'au travail.
Synthèse	A ce niveau de l'évaluation, on vérifie les compétences d'organisation d'un système structurellement cohérent, hétérogène ou en tout cas différent. A cette compétence correspond la rigueur conceptuelle de l'écriture surtout en rapport avec l'efficacité de l'argumentation, de l'individuation des procédés qui permettent la vérification d'une hypothèse ou de la finalisation d'un compte rendu d'une expérience complexe. C'est le cas, par exemple, de la rédaction d'un dossier ou d'un texte concernant un sujet spécifique en le justifiant par rapport à ce qui a déjà été conçu pour le même sujet.
Évaluation	Elle vérifie l'habileté d'exprimer des avis, c'est-à-dire d'évaluer – en termes qualitatifs et quantitatifs – la valeur, l'aptitude des procédés et des opérations relativement aux autres niveaux pédagogiques en se basant soit sur des critères intérieurs ou extérieurs, mais choisis et formulés par le sujet. Pour donner un exemple, l'instructeur de conduite sera compétent pour juger la compétence de son élève, le rédacteur d'une thèse aura assez de vues sur les théories qu'il a traitées pour renseigner un étudiant de licence, un médecin saura évaluer, conseiller son patient sur sa discipline alimentaire <i>etc.</i>

Tableau 8 : Critères d'évaluation selon la taxonomie de Bloom

2.2.2.2. L'évolution de la taxonomie de Bloom

La taxonomie des objectifs d'apprentissage trouve assez rapidement une évolution de son architecture à la suite aux travaux d'Anderson (Anderson & Krathwohl, 2001) élève de Bloom. Cette révision de la taxonomie peut être résumée par trois grands changements :

1. Modification de la terminologie des éléments dans la pyramide (les objectifs d'apprentissage). Si Bloom se référait aux objectifs en terme de « substantif », Anderson attribue à ces objectifs une fonction de « verbe » pour signifier le processus intellectuel - jamais acquis une fois pour toutes – dans sa nature de perpétuel renouvellement.

Voici, donc, les nouvelles dénominations des processus cognitifs :

Se rappeler :	il s'agit du processus cognitif qui permet d'accéder à la mémoire à long terme pour se rappeler de telle ou telle connaissance.
Comprendre :	ce processus cognitif permet la construction de significats à partir de stimuli oraux, écrits, graphiques.
Appliquer :	c'est un processus qui permet d'utiliser de façon pertinente et d'implémenter une procédure.
Analyser :	ce processus cognitif permet de décomposer le matériel en ses parties constituantes dans le but d'optimiser et organiser les connaissances.
Evaluer :	il consiste en un processus d'estimation et de jugement basé sur des critères qui sont spécifique d'une situation à l'autre.
Création :	ce processus permet de mettre ensemble de façon nouvelle et fonctionnelle des éléments déjà existants. Cette dénomination permet aussi de créer, planifier, produire tout ce qui est nouveau dans l'horizon de la personne face aux éléments de la situation donnée.

Tableau 9 : Nouvelle dénomination du processus cognitif selon Anderson

2. La substitution/changement des deux derniers échelons de la pyramide des objectifs d'apprentissage. En effet, l'avant dernier échelon de la pyramide voit muter la synthèse en évaluation et rajoute au sommet de la pyramide le processus de créativité.

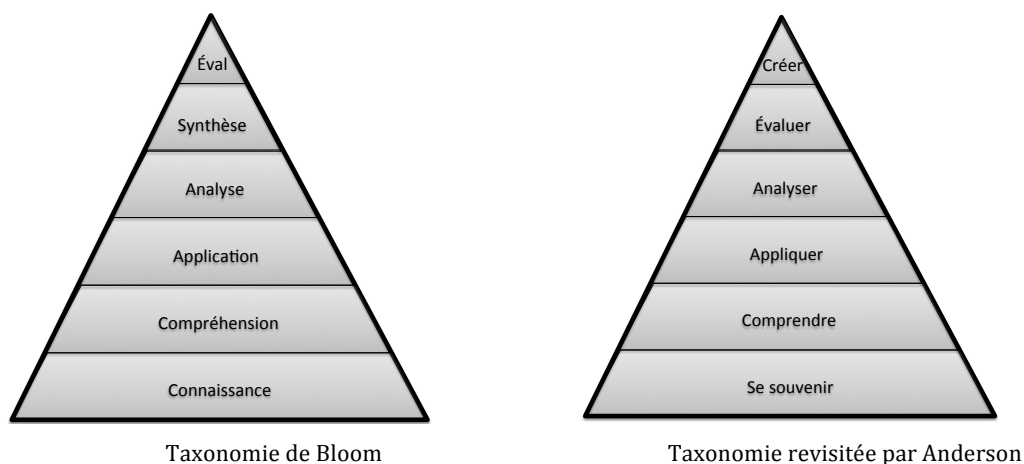


Figure 2 : Pyramide de Bloom vs Pyramide de Anderson

La dimension de la connaissance	Dimension des processus cognitifs
La connaissance factuelle	Il s'agit de l'acquisition de simples notions ou éléments de connaissances afin d'acquérir une notion (les dates d'une guerre en histoire) ou pour résoudre un problème (par exemple la compréhension des règles mathématiques pour réaliser une opération simple).
La connaissance conceptuelle	Permet de prendre en considération des éléments factuels précédemment acquis dans une finalité de construire un cadre plus complexe d'action. Les éléments pris en considération doivent ici trouver une pertinence interne et fonctionner correctement ensemble.
La connaissance procédurale	Consiste en une mobilisation des méthodes, des compétences et des critères les plus adaptés pour la réalisation d'une procédure.
La connaissance métacognitive	Consiste en la connaissance du processus cognitif et de sa propre application et du fonctionnement de cette activité.

Tableau 10 : Niveaux des connaissances d'après Anderson et Krathwohl (2001)

- Un 4^{ème} niveau de connaissances. En effet, la taxonomie originale de Bloom mentionnait seulement trois niveaux de connaissance : factuelle, conceptuelle, procédurale. La nouvelle version en rajoute un quatrième, la connaissance métacognitive.
- La redéfinition d'une matrice des niveaux de connaissance qui permet de comprendre quel processus peut être réalisé à quelle étape du développement cognitif. Voici donc la matrice des processus cognitifs et des connaissances conceptualisée par Anderson et Krathwohl (2001)

La dimension de la connaissance	Dimension des processus cognitifs					
	Se rappeler	Comprendre	Appliquer	Analyser	Evaluer	Créer
Connaissance factuelle	Lister	Synthétiser	Classifier	Mettre dans l'ordre	Noter	Combiner
Connaissance conceptuelle	Décrire	Interpréter	Expérimenter	Expliquer	Estimer	Planifier
Connaissance Procédurale	Faire des tableaux	Prédire	Calculer	Différencier	Conclure	Composer
Connaissance meta-cognitive	Utilisation Appropriée	Exécuter	Construire	Atteindre	Agir	Actualiser

Tableau 11 : Matrice des connaissances, revisitée par Anderson & Krathwohl (2001)

2.2.2.3. Intérêt de l'approche par objectifs pour la conception du *serious game*

Bien que nous jugions très pertinente l'approche par objectifs, nous ne pouvons pas affirmer avoir réalisé une opérationnalisation de celle-ci dans le cadre de la conception de notre SG LabQuest. Si, d'une part, cette approche semble être très efficace pour la conception de dispositifs de formation plus scolaires, de l'autre, lors de notre travail de conception nous n'avons pas su opérationnaliser les multiples possibilités offertes afin de réaliser un inventaire exhaustif des sujets qui devaient être intégrés dans le logiciel afin d'aboutir ou développement des compétences de travail des opérateurs en environnement aseptique. C'est pour cette raison

que l'approche par objectifs a partiellement été utilisée, dans son acception formulée par Clark & Chopeta (2004). En effet, nous avons pu déclarer lors de l'analyse des gestes professionnels, si le contenu spécifique concernait plutôt un processus, une notion ou une norme spécifique. A ce titre nous pouvons annoncer comment l'approche par compétences (que nous traiterons dans le prochain paragraphe) s'est révélé comme étant plus adaptée pour l'analyse de l'objet que nous voulons étudier. Il est toutefois évident qu'une approche par objectifs pourrait se révéler tout à fait efficace pour l'analyse des matériaux didactiques divers et variés, même dans le cas de la conception de SGs.

2.2.3. L'approche par compétences

Si l'approche par objectifs permet de souligner l'exigence d'explicitier les finalités d'un dispositif de formation, en facilitant aussi la démarche de conception de ces mêmes formations et évaluations (par exemple pour la formulation des QCM), cette approche ne permet pas de résoudre le problème lié à la conception de formations lorsqu'il s'agit d'atteindre des connaissances au niveau opérationnel. Ce point a concerné, par exemple, l'apprentissage d'un savoir-faire ou d'une procédure complexe. Dans ce cas, une fragmentation excessive des objectifs d'apprentissage pourrait avoir comme effet un enseignement ni unitaire ni homogène, et donc, très fragmenté. Au même titre que, pour apprendre à conduire une voiture, il ne suffit pas d'apprendre à utiliser les différentes composantes (les vitesses, les pédales, les indicateurs de directions, *etc.*), mais l'apprenti-conducteur doit intégrer des savoir-faire spécifiques afin de développer une pratique harmonieuse et unitaire. Pour cette raison, dans ce paragraphe nous traiterons, l'approche par compétences qui permet de rendre compte d'un apprentissage axé sur des procédures ayant comme but la réalisation d'un geste ou d'une tâche. C'est cette même approche que nous avons utilisée pour la conception du SG LabQuest.

Originaire des Etats-Unis à partir de 1980, cette approche exploite la notion de compétence dans le but de structurer et d'orienter les dispositifs d'enseignement supérieur dédiés à la formation professionnelle (Boutin, 2004). Rapidement, ce courant s'est étendu au milieu européen, notamment anglo-saxon. Contrairement à l'approche par objectifs, la notion de compétence fait référence aux actions : elle concerne donc ses connaissances en acte ou en séquences d'actions (Nguyen & Blais, 2007). Cette approche naît en opposition à la pédagogie par objectifs qui était perçue comme un dispositif qui réduisait l'apprentissage à des comportements observables à atteindre aussi béhavioriste que celle du conditionnement opérant skinnerien (Chauvigné & Coulet, 2010). En s'appuyant sur les théories cognitivistes qui s'intéressent au traitement de l'information dans l'activité, l'approche par compétence n'a pas pour but de produire des comportements chez les apprenants, mais au contraire, de développer

des dispositions qui permettent de générer des conduites de comportement chez des personnes de façon à les rendre capables de faire face aux différentes situations rencontrées (Chauvigné & Coulet, 2010). Voorheer (2001) définit la compétence comme l'intégration des habiletés, des connaissances et des capacités nécessaires à l'accomplissement d'une tâche spécifique. Cet auteur estime que le développement des compétences est l'un des éléments à la base de toute activité d'apprentissage. Le développement des compétences participe à la constitution des traits et des caractéristiques propres à chaque étudiant (provenant à la fois de son bagage génétique et du bagage culturel, issu de son milieu familial et social), qui influenceront l'acquisition, en diverses situations d'apprentissage, des capacités et des habiletés et connaissances qui les sous-tendent. Encore, Nguyen & Blais (2007, p. 239) affirment encore que *« la compétence est une caractéristique idiosyncrasique, c'est-à-dire un état de développement particulier à chaque personne, même si l'on peut reconnaître des similitudes et quelques invariants entre des personnes ayant développé des compétences dans le même champ »*. Gillet (1991) et Tardif (1996) avaient déjà souligné le caractère intégrateur d'une compétence. Pour eux, la compétence réunit, d'une part, l'idée de « système de connaissances organisées en schémas opératoires » et, de l'autre, celle de « famille de situations ». En effet, cette approche affirme que si, d'un côté il est nécessaire d'avoir une architecture interne de savoirs afin de constituer une compétence, en même temps, celle-ci peut être appliquée dans un nombre plus vaste de situations qui ont, d'une manière ou d'une autre, une familiarité avec la situation dans laquelle la compétence s'est développée. A ce propos, Roegiers (2001) parle de famille de situations-problèmes. Nous reviendrons plus en détail sur ce point dans le chapitre 3 consacré à la didactique professionnelle.

Pour être développée d'abord et appliquée ensuite, une compétence exige nécessairement la mobilisation de multiples connaissances de différentes natures : connaissances déclaratives, procédurales, mais aussi connaissances d'action, (Chauvigné & Coulet, 2010). Le Boterf (2000) propose la substitution du concept de ressource à celle de connaissance car cette dernière est trop restreinte. Ces ressources peuvent être internes et concerner divers domaines (cognitif - connaissances, affectif - attitudes, sensorimoteur - habiletés), peuvent être de différents types (connaissances déclaratives et connaissances d'action) et avoir différentes origines (savoirs codifiés et savoirs d'expérience). Mais il peut aussi s'agir de ressources externes lorsqu'on sollicite un sujet ou qu'on se serve d'un objet (on demande à un collègue de nous donner un avis scientifique, ou on utilise l'ordinateur pour faire un calcul). Ces connaissances doivent être identifiées et explicitées par le concepteur de la formation afin de comprendre la matière de l'apprentissage. Dans ce but, la didactique professionnelle propose des méthodes, que nous traiterons dans le chapitre 3 de cette thèse.

L'approche par compétences s'applique dans des situations de professionnalisation de la personne. Dans ce cadre, l'individu est censé prendre des initiatives, s'adapter, être autonome dans la réalisation des tâches qui lui sont confiées, évoluer dans ses fonctions par l'acquisition d'un savoir-faire indispensable pour « réussir » dans son métier. Aussi, l'apprentissage de comportements ne se fait pas de manière mécanique ou opératoire. Le modèle de la compétence, conçue comme une organisation cognitive évolutive permettant d'apporter des réponses comportementales adaptées en fonction des caractéristiques d'une situation, semble idéalement s'ajuster sur les attendus d'éducation liés à ce contexte (Chauvigné & Coulet, 2010). Dans des situations d'enseignement/apprentissage, cette approche permet à l'apprenant d'acquérir des compétences durables susceptibles de l'aider dans son parcours éducatif et dans sa vie quotidienne. Elle met l'accent sur tout ce qui est fondamental afin de garantir une meilleure transmission des savoirs.

Perrenoud (2000) définit cinq principes fédérateurs pour enseigner selon l'approche par compétences :

- créer des situations didactiques porteuses de sens et d'apprentissages ;
- les différencier pour que chaque apprenant soit sollicité dans sa zone de proche développement ;
- développer une observation formative et une régulation interactive en situation, en travaillant sur les objectifs destinées à lever des obstacles ;
- maîtriser les effets de relations intersubjectives et de la distance culturelle sur la communication didactique, et
- individualiser les parcours de formation dans les cycles pluriannuels d'apprentissage.

Vis-à-vis de la conception d'un dispositif de simulation, ces cinq principes peuvent s'appliquer pleinement. A ce titre nous avons évoqué notamment dans les simulations virtuelles, l'avantage d'adapter les niveaux de différencier les exercices et de les présenter à plusieurs reprises avec des variantes pour affirmer et réitérer l'apprentissage.

D'autres stratégies et principes sont proposés par Rogiers (2001), dans le même but de concevoir des situations enseignement/apprentissage efficaces. Il en propose quatre :

1. Ce qui est significatif pour l'apprenant réside mieux à l'usage du temps. L'enseignant doit s'assurer de créer des situations d'apprentissage significatives pour l'élève de façon à ce que ses savoirs soient reliés à ses pratiques sociales et à son environnement. De ce fait, l'apprenant est amené à contextualiser ses savoirs et à les mobiliser de façon utile.
2. Il est nécessaire de créer un apprentissage en « situation », où la situation est un exemple d'information destiné à une tâche précise. Dans cette perspective, l'importance n'est plus accordée au savoir/savoir faire de l'apprenant, mais plutôt à la mobilisation de ses

connaissances dans les différentes situations et circonstances.

3. Un enseignement est basé sur des cycles. En effet, pour développer des compétences durables, il est nécessaire que l'acquisition de la compétence se fasse à différents niveaux. Dans le cadre des institutions scolaires, les cycles et les degrés de classe sont institués. En ce qui concerne les apprentissages des adultes, la formation doit se faire à plusieurs reprises et dans des temps différents.
4. Il est enfin indispensable d'effectuer une adaptation des modalités d'enseignement par rapport aux différences individuelles des apprenants, à ses propres rythmes, ses compétences et ses difficultés particulières.

L'approche par compétences, comme nous l'avons déjà exprimé plus haut, a été mise en place dans les dispositifs universitaires pour faciliter la professionnalisation des étudiants.

2.2.3.1. Intérêt de l'approche par compétences pour la conception du *serious game*

L'approche par compétences semble s'adapter aux exigences de conception de l'outil de simulation LabQuest qui vise le développement des compétences professionnelles des opérateurs pour le travail en milieu aseptique. En effet, la conception d'un environnement 3D qui reproduit la conformation d'une entreprise « type » présente des avantages à tous les niveaux du processus d'apprentissage : pour une personne débutante, il est très intéressant de découvrir l'environnement simulé de l'endroit où il est conduit à travailler ; pour une personne déjà habituée à travailler dans la zone de production, il est intéressant de se confronter avec l'environnement simulé de façon à échanger sur les pratiques employées dans sa propre entreprise, mais aussi pour faire ressortir les réflexes et les comportements les mieux adaptés et les plus pertinents.

Le SG LabQuest respecte les quatre principes de l'apprentissage qui sont préconisés par l'approche par compétences :

1. Ce qui est significatif pour l'apprenant réside mieux à l'usage du temps : dans le SG nous avons construit des contenus pédagogiques qui parlent aux apprenants, en faisant référence à leur vie de tous les jours et en expliquant aussi simplement que possible des notions qui sont de l'ordre de l'invisible.
2. Il est nécessaire de créer un apprentissage en « situation » : par définition, LabQuest est un SG simulatif, qui reproduit l'environnement de référence.
3. Un enseignement est basé sur des cycles : LabQuest peut fournir des formations (grâce à la personnalisation des scénarios) ayant des niveaux différents de difficulté.
4. Une adaptation des modalités d'enseignement par rapport aux différences individuelles

des apprenants, à ses propres rythmes, ses compétences et ses difficultés particulières : en effet, étant personnalisables les scénarios, peuvent s'adapter aux exigences des apprenants.

Nous avons vu que la conception de LabQuest pouvait s'appuyer sur une approche par compétences, si l'on considère la compétence – dans ce cas spécifique – l'habileté de reproduire des gestes professionnels propres d'un métier tel que celui de l'opérateur en zone aseptique.

Dans ce chapitre, nous avons présenté de façon sommaire l'approche par compétences, dans le but d'offrir un tableau exhaustif des approches existantes qui permettent de concevoir les apprentissages. Cependant c'est dans le chapitre dédié à la didactique professionnelle et à l'analyse de l'activité de travail (*cf.* chapitre 3) que nous allons détailler le processus d'analyse des savoirs en vue de la conception du dispositif de formation le plus adapté aux objectifs.

2.2.4. L'apprentissage par l'action

L'apprentissage par l'action se retrouve dans les différentes approches pédagogiques déjà mentionnées. En effet, nous en avons déjà fait allusion lors de la présentation des stratégies d'apprentissage par simulation, mais aussi dans le paragraphe qui traitait de l'approche par compétences. Nous retrouverons donc ces concepts dans le chapitre portant sur la didactique professionnelle car l'activité et l'action²¹ sont en même temps objet d'observation (pour l'explicitation des objectifs d'apprentissage) mais aussi critères d'évaluation (pour comprendre si la personne a effectivement acquis la compétence visée). Nous soulignerons ici davantage la nature de l'efficacité de cette approche pour le développement des compétences. Il est évident qu'il n'est pas possible de séparer l'apprentissage par l'action de l'approche par compétences, car cette dernière suppose, pour développer des savoir-faire chez les apprenants, la réalisation d'exercices situés et pratiques.

L'apprentissage par l'action est un processus actif qui voit l'apprenant comme étant le principal protagoniste de son apprentissage. En prenant des initiatives en réponse à une situation donnée, la personne examine ses interventions au sein du système, de l'environnement qui l'accueille et modère son expérience en vue d'améliorer son rendement et ses performances. La force d'un apprentissage par et dans l'action consiste en la possibilité donnée à l'apprenant de visualiser le résultat de ses actions au sein de son environnement. Autrement dit, pour l'apprenant, il s'agit de résoudre des problèmes et de choisir les moyens pour y parvenir. C'est pour cette raison que l'expérience vécue par l'apprenant et l'analyse de son action, en réponse à

²¹ Nous souhaitons dans cette note poser l'attention sur les concepts d'activité et action. En effet, avec le terme activité nous faisons référence à un ensemble de phénomènes par lesquels se manifestent certaines formes de vie, un processus ou un fonctionnement. Cette activité peut être physique ou intellectuelle. Par action nous entendons un geste physique ou mental qui est accompli pour atteindre un objectif.

des situations données, peut être considérée comme une approche pédagogique efficace non seulement pour l'apprentissage de nouvelles compétences mais aussi pour la correction de certaines attitudes et comportements erronés qui se sont installés à la suite de nombreuses années de travail durant lesquels il a été resté confiné dans des tâches souvent répétitives.

L'apprentissage par l'action trouve son application à travers quatre activités typiques :

- 1) l'apprentissage empirique sur le terrain ;
- 2) la résolution créative de problèmes complexes (*creative complex problem solving*) qui a pour finalité de réfléchir à des solutions non-conventionnelles et innovantes, souvent dans une situation de contrainte et de stress élevés, par exemple lorsque le temps imparti est limité. (Mumford *et al.*, 2012) ;
- 3) l'acquisition de connaissances pertinentes (*acquiring relevant knowledge*) (Spence & Crick, 2004). En effet, comme l'affirment Johansson & Vahlne (1977) « *experiential knowledge makes possible to perceive 'concrete' opportunities and to have a 'feeling' about how they fit into the present and future activities*²² ». En d'autres termes, le fait de faire l'expérience d'une situation, offre la possibilité à l'individu de structurer une connaissance située, mais aussi de découvrir des applications alternatives ;
- 4) le support de co-apprentissage en groupe (*co-learning group support*). Cette stratégie d'apprentissage de type socio-constructiviste déjà soutenue par Vygotsky (1978) affirme que les apprentissages collaboratifs ont un impact significativement positif sur l'acquisition des connaissances ;

La fonction support incitée par la présence des autres, ainsi que la réflexion qu'ils peuvent avoir sur ses propres pratiques individuelles, sont des concepts qui ont été développés amplement par la psychologie du travail, et plus précisément par l'ergologie. Basé sur ces mêmes notions, une méthode d'analyse des pratiques professionnelles a été développée. En effet, dans cette méthode, le sujet – qui a donné préalablement son accord - est mis face à l'enregistrement de son activité pendant une session de travail. Le visionnage de la vidéo par le sujet se fait en présence d'un ergonome ou psychologue du travail qui assure son accompagnement et guide la discussion et la réflexion. De ce fait, il est demandé à la personne de s'observer dans l'enregistrement et de réaliser une analyse critique de son activité. Cette méthode peut, d'une certaine manière, être comparée à la méthode éactive : elle consiste, habituellement, en un échange entre l'employé et le psychologue au sujet des enregistrements qui voient l'employée protagoniste de l'action. Dans ce contexte, la personne réalise une réinterprétation des pratiques mises en action : elle peut verbaliser et avoir un regard critique sur l'activité qu'elle a réalisée pour donner ou redonner un sens aux situations vécues et aux

²² L'apprentissage par l'expérience rend possible la perception concrète des opportunités et de reconnaître comment elles peuvent être intégrées dans des activités présentes et futures p.28.

tâches accomplies. Cette méthode lui offre la possibilité de mieux comprendre les raisons de tel ou tel comportement *a posteriori* et, éventuellement, d'améliorer ses pratiques voire de développer de nouvelles compétences.

2.2.4.1. Intérêt de l'apprentissage par l'action pour la conception du *serious game*

Cette approche doit impérativement être prise en considération et valorisée comme méthode d'apprentissage préférentielle lors de la conception des SG. Toutefois, l'écriture d'un *storyboard* efficace ne comporte pas qu'une « mise en histoire » de contenus pédagogiques identifiés dans les phases d'analyse des besoins. Elle permet, au contraire, de scénariser ces contenus de manière à solliciter l'acquisition de connaissances ou le développement de compétences. Si l'on prend l'exemple de notre SG LabQuest, l'utilisateur est amené non seulement à réaliser des missions dans un environnement virtuel - et donc protégé-, mais aussi grâce à l'observation d'un avatar en train de réaliser des activités, qu'il dirigé par lui-même, notre SG rend possible une posture plus critique vis-à-vis de la façon dont l'activité sera exécutée. Dans ce système, nous aurons une coïncidence entre l'action de « faire » et l'action d'« observer » quelqu'un faire quelque chose qui, potentiellement, pourrait avoir un effet réitératif dans le processus d'acquisition des apprentissages chez l'utilisateur.

2.2.5. Différentes approches, différentes phases... ou les mêmes ?

Nous avons pu voir comment l'ingénierie de conception des SGs prend en considération, mélange, exclut ou encore, recombine des approches pédagogiques qui peuvent sembler hétérogènes. Il est en effet très difficile de définir un parcours rectiligne, étape après étape, de conception des SGs. Ces différentes approches n'ont pas vocation à s'exclure mutuellement. Au contraire, elles peuvent se compléter et se nourrir réciproquement. Des approches plus normées, comme l'apprentissage programmé, l'apprentissage par instruction ou l'approche par objectif, peuvent être utilisées comme moyens d'explicitation et d'identification des objectifs d'apprentissage qui doivent être ciblés. Elles peuvent donner une direction à la conception de l'apprentissage ou de l'évaluation qui en suivra. D'autres approches, comme celle par compétences ou les stratégies d'apprentissages par l'action, représentent la note de fond qui doit conduire la scénarisation des dispositifs. Pour toutes ces raisons, un concepteur consciencieux, non seulement de SGs mais de tout apprentissage, doit les connaître et savoir combiner ces approches de façon créative, afin d'obtenir un résultat le plus efficace et le plus performant en termes d'acquisition des apprentissages.

3. Compétences professionnelles et méthodes d'analyse de l'activité de travail

La didactique professionnelle et l'analyse de l'activité au travail : vers l'apprentissage des gestes professionnels

Tout au long de cet axe théorique nous nous intéresserons à la relation que l'individu entretient avec son activité de travail. Pour cet objectif, nous ferons appel à la didactique professionnelle qui fournit les instruments nécessaires à cette analyse afin de construire des formations pertinentes et efficaces. L'objectif de ces chapitres sera de donner une définition des notions ou concepts de « geste professionnel », de « compétence » et de « performance » de manière à ce qu'ils puissent être, dans un premier temps analysés, puis reproduits, au sein du SG. Nous présenterons les méthodes d'analyse du travail employées pour l'identification de la matière d'apprentissage susceptible d'être scénarisée dans le SG ; cette méthode nommée « analyse du travail » est issue de la didactique professionnelle et de l'ergologie. Elle est opérationnalisée dans une ingénierie créée autour de l'apprenant, utilisateur primaire du SG qui s'occupe, non seulement d'analyser les objectifs de l'apprentissage, mais aussi ses ressentis, ses représentations et les activités réelles qui sont accomplies dans l'environnement de travail.

3.1. Geste professionnel, développement des compétences et mesure des performances

Dans notre société, le travail est un aspect fondamental dans la vie des personnes car chacun y consacre en moyenne un tiers de son temps quotidien. À la suite de la grande révolution industrielle, de nombreuses études se sont développées dans le but de produire une science du travail. Cette notion présente en elle-même une opposition entre deux termes : d'une part celui de « science », qui a une connotation théorique et est extrêmement régie par des relations de cause à effet et, de l'autre, celui de « travail », qui a une connotation d'activité située et pragmatique. Les premières études de l'activité de travail datent de la deuxième moitié du 19^{ème} siècle, avec la révolution industrielle et le taylorisme. Ce dernier avait comme objectif la production d'une organisation scientifique du travail dans le but d'obtenir des conditions optimales pour maximiser la production industrielle. Cette approche scientifique du travail consistait en une analyse détaillée et rigoureuse des modalités et des techniques de production (gestes, rythmes, cadences, etc.) ; l'établissement de la « meilleure façon » (*the best way*) d'aboutir à une production linéaire et sans coupures dans le processus (définition, délimitation et séquençage des tâches) ; et la fixation des conditions de rémunération plus objectives et motivantes pour le personnel. À partir des années 1960, l'étude de l'activité de travail s'intéresse à l'adaptation de l'individu aux outils et aux instruments mis à sa disposition. On parle pour la

première fois d'*ergonomie*. L'un des problèmes que pose la traduction de l'activité de travail en science réside dans le phénomène de déformation que celle-ci subit, une fois que l'on fait l'effort de la rendre « scientifique ». En effet, le travail est uniquement observable comme activité en action, en raison de sa nature dynamique et complètement liée au contexte. C'est pourquoi, la multiplicité des définitions disponibles du concept de travail rend impossible l'identification universelle de sa nature. Il est toutefois impossible de n'étudier que les effets qu'il produit (les maladies, les incidents, la production, *etc.*). Même si la science du travail repose sur l'étude de l'individu, donc de l'être humain, elle reste une application de principes physiques, psychologiques, historiques et économiques qui ne prennent pas en considération l'unité et la spécificité de cette activité qui est définie par le fait d'être un acte de volonté de l'individu. C'est cette impossibilité de « mathématisation » de cette activité, et donc d'une application immédiate, qui a rendu difficile la naissance d'une véritable science du travail.

L'ergologie²³ est une démarche d'appréhension et d'analyse de l'activité humaine au travail qui a récemment été développée en France au sein de l'Université d'Aix-Marseille. Néanmoins, les premières approches ergologiques remontent à la psychologie appliquée au travail en 1925, qui tracent les contours d'une approche scientifique du travail comme objet jusque-là dispersé entre les différentes sciences et disciplines (par exemple la philosophie, l'histoire, la médecine *etc.*). L'approche ergologique s'appuie sur deux postulats fondamentaux :

- 1°) le travail est complexe ;
- 2°) l'être humain veut toujours être acteur de ses normes.

L'ergologie se définit ainsi par trois éléments (Schwartz, 1997 ; 2000) :

- l'association de tous les savoirs disciplinaires utilisables pour comprendre les situations de travail ;
- la volonté de prendre comme objet d'étude l'acte de penser le travail ;
- la volonté de développer une « communauté scientifique élargie » composée aussi bien d'acteurs que d'experts porteurs de concepts.

Contrairement au taylorisme, qui propose une optimisation de l'activité au travail ayant pour finalité la productivité (et qui a conduit aux XIX^e et XX^e siècles à des phénomènes d'aliénation des travailleurs), l'approche ergologique fait surgir la complexité énigmatique du travail. Cette complexité de l'activité se manifeste par l'écart, souvent observé, entre les situations de travail réellement observées et les normes qui prescrivent comment cette activité

²³ Différence entre ergologie et ergonomie : l'ergonomie a comme objet principal l'activité humaine en situation de travail. Elle vise à comprendre comment une personne fait usage de son corps et de son intelligence pour travailler et quelles en sont les conséquences. L'ergologie, par contre, est une démarche qui vise à mieux connaître les situations de travail dans leur complexité et unicité et surtout à mieux intervenir sur celles-ci pour les transformer.

doit être réalisée. En effet, l'activité réelle ne répond jamais parfaitement aux normes et aux procédures prescrites, l'imprévu et l'invention sont des éléments régulièrement retrouvés, même dans les situations les plus planifiées qui semblent ne pas laisser place à l'initiative individuelle (comme, par exemple les chaînes de montage). L'activité y est définie comme l'ensemble des dimensions qui caractérisent l'humain, à savoir le corps, l'esprit, l'individuel et le collectif, les faits, les valeurs, la vie privée, la vie professionnelle, les cadres imposés, les situations désirées, *etc.* Ces dimensions ne relèvent d'aucune discipline particulière. Elles s'enrichissent cependant d'apports variés qui, une fois regroupés, rendent compte de l'activité humaine au travail. Pour aboutir à cette vision, en vue de la compréhension puis la résolution des problématiques liées à l'activité au travail, l'ergologie s'appuie sur des approches méthodologiques d'étude de l'activité comme l'analyse de l'activité et du travail et la didactique professionnelle.

Dans ce chapitre nous allons présenter les concepts fondamentaux que nous avons retenus lors de la conception du SG pour l'apprentissage des compétences professionnelles en milieu aseptique. Dans cette perspective, nous traiterons le concept de « geste professionnel » comme unité de mesure d'une activité professionnelle, auquel sont aussi rattachés les concepts de savoir, savoir-être et savoir-faire. Nous traiterons, ensuite du développement des compétences et de la manifestation des compétences en performances, autrement dit de la partie « mesurable » d'une compétence.

3.1.1. Le geste professionnel comme unité de mesure des compétences

3.1.1.1. Le concept de geste professionnel

Toute procédure inscrite dans le cadre d'une activité de travail peut être découpée en gestes professionnels décrivant la succession des étapes nécessaires à la finalisation d'une tâche. L'activité requise pour le travail peut donc être décrite par un ensemble de gestes professionnels préalablement fixés, qui trouvent néanmoins une adaptation intelligente selon la situation particulière proposée par l'environnement. La définition de geste professionnel est un sujet longuement débattu du fait d'une grande dispersion des références et des concepts centraux auxquels il se rattache. D'après Cizeron (2010), une première orientation s'intéresse à l'action. Sensevy (2005) souligne à cet égard que l'activité empirique s'appuie sur une théorisation de l'activité cognitive. Cette conceptualisation du geste se révèle être un schème fondamentalement lié à l'action. Il s'agit, en effet, d'une action intrinsèquement liée à une *praxis*, à un contexte : en effet, une procédure simplement énoncée ne peut pas être considérée comme un geste professionnel, mais elle doit être considérée comme une procédure prescrite. Une deuxième orientation, comme celle de la psychologie du travail, voit le geste professionnel (ou le geste de

métier) comme l'ensemble d'un savoir-faire partagé et reconnu par une catégorie précise de travailleurs exerçant la même profession (Clot, 1999). Il s'agit d'un savoir-faire qui règle l'activité professionnelle de façon tacite (Clot, 1999). Ce geste s'inscrit dans une *praxis* au sens où il se déploie dans l'action (Jorro, 1998). Le *geste professionnel* est ainsi défini comme la capacité à mobiliser des ressources pour s'adapter à une situation. Il s'agit d'un ensemble d'actions, de mouvements, de postures et d'opérations physiques et cognitives, articulées et coordonnées entre-elles, visant à la réalisation d'une tâche de production. La finalisation d'un geste professionnel requiert la mobilisation de compétences professionnelles. Autrement dit, le geste professionnel correspond à la mobilisation des savoirs, savoir-faire et savoir-être répondant à un besoin spécifique dicté par une situation présentée au travail. Par exemple, le geste professionnel d'un enseignant, ayant pour finalité la détection des erreurs orthographiques dans une dictée, consiste en une activité cognitive qui prévoit la lecture des phrases et la connaissance au préalable des règles d'orthographe. Dans cette activité cognitive, rien de physique n'est prévu mis à part le mouvement des yeux sur le papier pour la lecture. De même, le concept de geste peut être lié au mouvement et avoir une connotation physique, en d'autres termes, comme une série de contractions musculaires assurant les déplacements absolus et relatifs des segments corporels impliqués dans l'action en cours (Clot & Fernandez, 2005). Investi de la posture et de l'attitude du sujet dans la situation, le mouvement est aussi le résultat de ce qu'un milieu professionnel retient comme étant adapté ou déplacé.

On peut rendre compte de la mise en œuvre d'un geste professionnel à l'aide du concept d'invariant opératoire. Comme Piaget (Piaget & Inhelder, 1998) l'avait déjà décrit pour le développement de l'enfant, des schèmes d'actions se construisent pour conduire l'action du sujet sur un objet. En psychologie du travail, ce schème d'action est appelé un invariant opératoire. L'invariant opératoire est un outil pour penser, qui permet au sujet non seulement de former des représentations sur les objets et sur les phénomènes qui nous entourent, mais aussi de pouvoir agir sur eux (Pasté, 2002). Cet invariant opératoire peut donc être analysé. En effet, une fois une représentation construite et une stratégie d'action mise en place, la personne mettra toujours en œuvre le même procédé d'action jusqu'à ce que quelqu'un ou quelque chose le pousse à en reconstruire un autre qui soit plus efficace ou pertinent. Selon ce concept d'invariant opératoire, il est possible de penser les procédures comme une armature d'actions physiques et cognitives qui laissent la liberté d'intégrer des variantes (appliquées à la situation présentée) selon une dialectique cohérente entre théorie et pratique. L'invariant opératoire est un concept qui peut prendre la forme de « connaissance en acte » car il est mobilisé pendant l'activité. Par exemple, selon l'épaisseur du tissu qu'elle est en train de coudre, une couturière peut ajuster la pression de son pied sur la pédale pour moduler la vitesse de la machine : connaissant extrêmement bien les effets de sa pression sur la pédale et la résistance du tissu, la personne est

en mesure d'adapter son activité afin de combiner les variables de la situation pour faire aboutir sa tâche. Dans son environnement de travail, une personne ne se contente donc pas que de choix relatifs à sa conduite d'action. Pour chaque situation donnée, elle met en œuvre des comportements qui sont définis pas des schèmes d'actions.

Une analyse des gestes professionnels (et donc des invariants opératoires appliqués à la réalisation de la tâche) dans le cadre de l'activité de travail s'impose lorsqu'il s'agit de produire un diagnostic des procédures optimales pour la finalisation des tâches professionnelles. Ces procédures pourraient, dans un deuxième temps, être prises comme modèles pour mesurer la performance d'exécution du geste. Nous traiterons des méthodologies d'analyse de l'activité dans les prochains paragraphes.

3.1.1.2. Les savoirs, savoir-faire, savoir-être

Nous avons besoin d'analyser les comportements que les personnels peuvent avoir dans l'environnement de travail afin de rendre explicites les objectifs d'apprentissage. De ce fait, ces objectifs visent le développement de compétences. Toute compétence, de travail ou non, se développe sur trois axes fondamentaux de connaissance(s) ou de savoir(s) qui sont mobilisés afin d'aboutir à l'action : *savoir, savoir-faire, savoir-être*.

Le *savoir* est à la base de toute action réfléchie et volontaire. « *Il n'y a pas d'activités physiques et d'autres spirituelles (...) dans les deux on peut agir de façon automatique ou de façon intelligente* » (Reboul, 2010). Il s'agit donc de l'ensemble des connaissances (vraies ou fausses) acquises par l'individu et intégrées dans sa propre représentation du monde, de son environnement et des règles qu'il croit être vraies. Le savoir est ici l'élément abstrait qui dirige l'action avec, y compris, les croyances propres à l'individu.

Le *savoir-faire* est le pouvoir direct que le sujet a sur son propre corps. Le savoir-faire est la maîtrise de soi (...) qui permet de localiser l'acte et de faire ce qu'on en veut (Reboul, 2010). *Le savoir-faire c'est une structure acquise et non une somme d'éléments*.

Le *savoir-être* est le fait même d'avoir acquis un savoir-faire qui permet d'alimenter l'ensemble des savoirs qui feront de la personne ce qu'elle est. Le processus de construction du savoir-être commence à la naissance. Chaque savoir-faire acquis permet à la personne de découvrir des méthodes qui lui serviront en d'autres circonstances (Reboul, 2010). Il s'agit donc des aspects de la personnalité propres à la personne qui lui permettent de s'adapter aux situations diverses et variées, proposées par l'environnement. Le savoir-être peut jouer un rôle très important pour les aspects professionnels. Certains postes exigent, par exemple, un niveau élevé d'autocontrôle voire de concentration et de créativité.

Dans son étude sur les dispositifs de simulation, Pastré (2005b) montre que les jeunes ingénieurs, bien que maîtrisant les connaissances techniques et scientifiques des machines et de l'environnement de travail, pouvaient ressentir autant de difficulté que les techniciens non qualifiés pour piloter un dispositif particulier. Dans ce cas spécifique, nous voyons donc que, bien que les ingénieurs disposaient d'une connaissance technique (donc d'un savoir) plus aiguisée que les techniciens non qualifiés, cette connaissance « théorique » n'avait pas été transférée dans le domaine du savoir-faire au sein du dispositif. A partir de cette donnée, Pastré (2005b) fera l'hypothèse de l'existence de deux types de conceptualisations chez les jeunes ingénieurs : la première leur permettrait d'acquérir des connaissances du domaine sous forme de savoir théorique, ce qui constitue le but d'une formation technique et initiale ; la deuxième serait liée au savoir-faire qui s'élabore sur le terrain de l'action. L'« invariant opératoire » est cette connaissance que l'apprenant développe activement dans l'activité. Nous pouvons ainsi reprendre l'exemple cité plus haut concernant l'habileté de la couturière à bien doser l'appui sur la pédale et la vitesse de glissement du tissu sous l'aiguille. Même si la couturière peut apprendre la connaissance de ce phénomène au cours de sa formation initiale (et peut-être aussi au cours de la présentation de la machine ou des types de tissus), elle ne testera le concept de dosage qu'en le mettant elle-même en œuvre. En d'autres termes, comment est-il possible d'aboutir à une genèse opérative ? Pastré (2005a) explique comment, selon lui, les personnes acquièrent un savoir opérationnel (ou un savoir-faire) : chaque fois qu'un individu plongé dans une situation d'apprentissage pratique, est confronté à une nouvelle situation problème jamais rencontrée auparavant, il est obligé de réorganiser son propre modèle opératoire afin de reconstituer un schème de compréhension qui puisse s'adapter à la nouvelle classe de situation. Il ne s'agit pas d'un processus linéaire. Au contraire, les acteurs de cet apprentissage doivent affronter des contradictions car dans les premières phases, ils essayeront d'utiliser leur système opérationnel disponible (Pastré, 2005b). Pour mieux expliquer ce phénomène, nous reprenons l'exemple du démarrage de la voiture. La plupart des gens ont fait l'expérience du démarrage de la voiture en tournant la clef de contact. Or, en 2015, avec la nouvelle génération de voitures, de nouveaux dispositifs permettent aux conducteurs de s'affranchir du système de démarrage antérieur, en ayant tout simplement dans une poche ou dans un sac, une puce qui activera toute la commande électroniquement, ce qui fait qu'en s'approchant de sa voiture, le propriétaire n'aura plus à exécuter la moindre manœuvre. Cependant, il est probable qu'en s'approchant les premières fois de la porte de sa voiture, le conducteur mette en œuvre des schèmes d'action, comme par exemple, chercher ses clefs de contact qui ont été intégrés dans l'expérience antérieure. A tel point que, bien que cette nouvelle méthode soit plus confortable pour lui, l'acquisition de ce nouveau schème opératoire (pour l'ouverture et le démarrage de la voiture) lui demandera une période d'adaptation, de genèse opérative. De la même façon, un phénomène analogue survient

lorsqu'un usager, habitué aux vitesses manuelles, achète ou prend en location une voiture automatique. Dans ce cas également, la personne essaiera d'utiliser le schème d'action (nous reviendrons plus loin sur ce concept) avant de pouvoir parvenir à une genèse opérative.

3.1.1.3. Le concept de compétence et performance

En latin, *competens* est un terme issu de la réunion du verbe *petere* (pouvoir) et de la conjonction *cum* (avec). Cette analyse explique la signification à la fois statique et dynamique du terme compétence, qui désigne le fait d'être dans la possibilité de réunir les qualités nécessaires à la réalisation d'une mission (Noël, 2005). Dans ses travaux sur le langage, Chomsky (1965) est l'un des premiers auteurs qui oppose les concepts de compétence et de performance. La compétence renvoie à ce que l'acteur mobilise pour parvenir à un objectif. Les éléments de la compétence sont en partie cachés, c'est-à-dire qu'ils ne peuvent être ni observés, ni mesurés. La performance renvoie au contraire à ce qui est visible. Il s'agit du résultat de l'action. Par conséquent, la performance (qui résulte de la mobilisation de certaines compétences pour l'aboutissement de l'action) est souvent utilisée comme l'indice de la détention d'une compétence. De la même manière, Tardif (2006) définit la compétence comme un « *un savoir-agir complexe prenant appui sur la mobilisation et la combinaison d'une variété de ressources internes et externes à l'intérieur d'une famille de situations* ». De plus, il décrit de façon pointue ses caractéristiques : 1°) la compétence a une dimension intégratrice : pour pouvoir se développer elle fait appel à une multitude de ressources de natures variées qui vont des traits de personnalité de la personne jusqu' aux caractéristiques de l'environnement dans lequel la personne va devoir agir ; 2°) son caractère combinatoire lui permet d'accéder et de recombinaison les ressources précédemment acquises pour pouvoir les intégrer à de nouvelles situations-problèmes et de les résoudre de façon analogue aux précédentes ; 3°) son caractère développemental rend possible le fait de développer ses compétences tout au long de la vie ; 4°) sa nature contextuelle fait que chaque compétence est mise en œuvre à partir d'une situation déterminée et s'impose par elle-même ou par des tiers ; et 5°) son caractère évolutif donne aux compétences la capacité d'intégrer de nouvelles ressources et de nouvelles situations sans pour autant être dénaturées.

L'approche ergologique de la compétence, centrée sur le concept d'activité, permet de penser la compétence comme étant le résultat des éléments hétérogènes qui permettent la maîtrise d'une matière spécifique. Le travail, même celui qui semble le plus élémentaire, n'est jamais la pure exécution de consignes. En effet, pendant l'activité au travail, il existe toujours une dimension d'imprévu, impossible à anticiper, qui demande cependant une redéfinition du problème et une adaptation de la norme théorique standardisée, dans le sens de ce qui est

normalement attendu. De ce fait, dans l'approche ergologique, la compétence est définie comme l'élément qui permet aux individus de faire face à la singularité des situations de travail. En effet, ce n'est pas l'application mécanique de règles et de procédures qui permet l'acquisition de compétences, mais plutôt la réaction des individus face à l'inédit d'une situation et donc la gestion de l'imprévisible et de l'imprévu.

Pour la pensée ergologique, la compétence dans l'exécution d'une activité de travail est caractérisée par trois ingrédients :

1. Le premier renvoie au degré d'appropriation de la régularité des situations. Le sujet doit neutraliser la dimension conjoncturelle de la situation de travail pour en retenir les éléments de régularité susceptibles de déclencher une conduite adéquate. La personne doit extraire à plusieurs reprises de l'action proposée les éléments nécessaires pour en tirer la procédure principale, en la catégorisant éventuellement en étapes bien définies. Cette extraction suppose la maîtrise des systèmes formels, des codes et des procédures, ainsi que des langages.
2. Le deuxième présuppose une compétence « adhérente à l'action » qui permet au sujet d'introduire dans le protocole repéré et appliqué, des éléments partiellement inédits et adaptés à la singularité de la situation. Par exemple, se trouvant face à une situation déviante par rapport à une procédure attendue, la personne est capable d'en utiliser une autre (également apprise au préalable) de façon à répondre efficacement à la situation problème à laquelle elle est confrontée.
3. Le troisième consiste dans la capacité du travailleur à mettre en dialogue les deux premiers ingrédients, c'est-à-dire sa capacité à repérer à la fois les éléments de régularité des situations et leurs particularités (et, dans ce cas-là, de répondre positivement à la situation).

Le Boterf (1999) développe également la notion de compétence autour de l'action, de la situation et des résultats obtenus dans l'environnement de travail. Nous trouvons, dans la littérature, deux points communs qui semblent être caractéristiques de la notion de *compétence*. Le premier est celui que la compétence ne se révèle que dans l'action. Il ne s'agit pas seulement de posséder des capacités, mais encore faut-il être capable de mobiliser les bonnes et au bon moment. Dans ce cas-là, nous pouvons donc parler de performance, c'est-à-dire de l'action réalisée, mesurable à partir d'un modèle possédant des grilles de catégories de différents degrés de finesse. De même, Scallon (2004) affirme que la notion de compétence est intrinsèquement liée à l'action des savoirs propres à la personne, qui doivent être mobilisés afin d'atteindre un objectif. Selon cet auteur, il n'y a aucune autre façon de développer et d'inférer les compétences que dans l'action.

Le deuxième point commun relève du fait que, lors de l'action, la compétence tient compte de la situation et de son contexte. « *Les compétences relèvent de cette forme opératoire de la connaissance distincte de sa forme prédicative, énonciative : elles permettent une souplesse dans l'adaptation aux circonstances, autour d'un noyau invariant qui organise l'action en fonction de la structure conceptuelle de la situation de référence* » (Carré & Caspar, 2011).

Si la compétence peut être définie comme le savoir « potentiel » propre à un individu, nous devons pouvoir la différencier du résultat mesurable et factuel d'un savoir mis en situation. La *performance* renvoie donc au comportement manifeste et actuel du sujet. Famose (1993) propose une définition plus contraignante de cette notion : « *la performance est un résultat, produit de l'activité, perçu, mesuré et évalué par le pratiquant ou un observateur extérieur* ». Nous sommes face à une définition qui décrit la performance comme l'ensemble des tâches qui sont effectuées afin d'accomplir un geste professionnel (Famose, 1990 ; 1993 ; Delignières, 2004 ; Jean, 2008). Dans cette définition, chaque action peut être décomposée en micro-tâches avec des critères qui peuvent être mesurés. De la même façon, Vergnaud (1985) soutient que, pour analyser les compétences, il faut analyser l'action efficace à la réalisation d'un but. Celle-ci est en effet organisée par une hiérarchie interne d'actions. L'analyser veut donc dire tester son organisation interne. Nous en revenons donc au même concept de l'invariant opératoire et de l'évaluation des gestes professionnels en tant qu'unité de mesure de la performance.

En effet, il ne faut pas entendre l'invariant opératoire comme un ensemble d'actions figées. Bien au contraire, l'efficacité de ce schème d'action se manifeste par une régularité et une reproductibilité de l'action, mais également par la flexibilité et les capacités d'adaptation de celle-ci à la situation. Comme l'exprime Pastré (2002), « *L'action efficace est souplement organisée autour d'un noyau invariant, car il ne peut pas y avoir d'organisation sans invariance, mais avec une grande capacité à s'adapter jusqu'à un certain point aux variations de la situation* ». Comme nous l'avons décrit dans le paragraphe consacré à la définition d'un geste professionnel, des schèmes opératoires intègrent la représentation de la personne, ce qui lui permet de réaliser une action en optimisant l'analyse des informations données par la situation, et en lui permettant d'employer une stratégie d'action qui a été développée lors de l'apprentissage d'un tel geste dans une situation donnée. D'où l'intérêt des concepts de reproductibilité et de flexibilité. L'évaluation de la compétence professionnelle consiste en l'analyse de la manière dont l'invariant opératoire s'organise dans l'action, son degré de souplesse et en même temps de pertinence.

Pastré (2002 ; *et al.* 1998) défend l'idée que dans le cadre des compétences professionnelles, il existe des concepts très spécifiques au métier réalisé : les concepts pragmatiques. Ces concepts servent à effectuer un diagnostic du *status quo* de la situation en vue

de réaliser une action. Par exemple, un concept pragmatique fondamental dans le cadre du travail en salle blanche est celui de « décontamination ». Ce dernier est défini par la biologie comme un état d'une matière qui n'est jamais entrée en contact avec un organisme biologique. Néanmoins, avec une signification légèrement différente, ce concept est également utilisé dans le milieu pharmaceutique pour définir un état idéal mais qui ne pourra jamais être vérifiée en raison du fait qu'il n'est pas possible d'obtenir une décontamination d'une pièce ou d'objets qui sont sujets à manipulation humaine. Or, la personne qui travaille en milieu aseptique sait que toute action devra être réalisée de façon à ne pas contaminer l'environnement de production. De plus, elle sera amenée tout au long de son activité de travail, à contrôler sans cesse que les objets présents dans l'environnement ne soient pas, à leur tour, contaminés. A cette fin, elle devra procéder à un échantillonnage des objets et de sa propre tenue en veillant aux gestes afin de ne pas être la cause de sa propre contamination. Le concept de « décontamination », n'est pas un concept réalisable (car selon sa définition biologique il ne sera jamais possible d'avoir une décontamination absolue). Néanmoins, l'opérateur est sensibilisé et travaille avec cette représentation de « décontamination », même si ce concept reste très abstrait. En effet, on ne peut pas voir la contamination à l'œil nu, ce qui veut dire que la personne doit travailler et modeler son comportement en tenant compte de ce principe. Cela signifie qu'une personne qui a appris à travailler avec un principe de décontamination, aura une attitude qui sera différente de celle qui n'aura jamais eu d'expérience en zone stérile, même si cette dernière était sensibilisée au principe de décontamination fourni par la biologie. En conclusion, un concept pragmatique, est caractéristique d'une activité professionnelle et se distingue du concept relié à la vie quotidienne. Ces exemples soulignent l'importance du rôle des gestes professionnels et les concepts pragmatiques qui leur sont adossés dans le système situation-activité. Dans cette organisation, un concept pragmatique devient ainsi représentatif d'un champ professionnel, mais aussi du type de stratégie qu'un acteur est capable de mobiliser pour atteindre un objectif.

Les gestes professionnels constituent donc la réalisation de schèmes ou invariants opératoires (représentations de la manière dont les choses doivent être effectuées) qui se sont créés à partir de la tâche prescrite, de la tâche réalisée et des conditions de travail, à savoir, la situation. Cette méthode sera approfondie dans ce même chapitre. C'est donc dans l'activité humaine et dans l'adaptabilité et la mise en œuvre des invariants opératoires, qu'on peut lire si la personne est compétente dans l'exécution d'un tel geste. Aussi entendons-nous par compétence, les stratégies visant à mobiliser les schèmes d'actions et les invariants opératoires qui sont mis en œuvre pour réaliser un geste professionnel.

Dans le chapitre à venir nous allons présenter la méthode d'analyse de l'activité de travail qui a été utilisée pour l'identification des objectifs pédagogiques à intégrer dans le logiciel.

3.2. L'analyse de l'activité de travail : les apports de la didactique professionnelle et de l'ergologie

Dédié à la définition des méthodes de l'analyse de l'activité de travail, ce chapitre est fondamentalement lié au précédent. Nous présenterons cette méthode d'analyse, ainsi que les concepts qui la composent (tâche, tâche prescrite, tâche réelle *etc.*). Cette méthode sera ensuite opérationnalisée dans le cadre de ce travail de thèse et en constituera la partie essentielle pour la définition des contenus d'apprentissage susceptibles d'être intégrés dans LabQuest.

Samurçay et Pastré (2004), définissent la *Didactique Professionnelle* comme une discipline d'origine française, née de la rencontre de différents champs théoriques. Le premier est celui de *l'ergonomie cognitive* qui a fourni les méthodes d'analyse du travail. Le second est la didactique de l'enseignement professionnel et de la formation continue. En parallèle de ces deux champs théoriques, nous retrouvons l'apport de la psychologie du travail qui met l'accent sur la dimension cognitive de l'activité de travail et de la psychologie du développement en insistant sur le rôle de la conceptualisation dans l'action. En effet, Ombredane & Faverge (1955) définissent le travail comme une conduite par laquelle un acteur cherche à s'adapter aux caractéristiques d'une situation au travers d'une démarche active. Dans cette définition, nous retrouvons les notions de « démarche active » et de « situation ». Néanmoins, ces auteurs ne parlent pas encore d'« activité ».

C'est en raison de ses caractéristiques intrinsèques que la didactique professionnelle a développé des méthodes d'analyse du travail en vue du développement des *compétences professionnelles*. En effet, ce propos, naît de l'observation d'un décalage entre les objectifs visés par les formations et les compétences réellement développées dans leurs prolongements. Dans cette perspective, l'analyse du travail répond à un double objectif : d'un côté, permettre de construire des contenus de formations correspondant à la situation professionnelle de référence et, de l'autre, permettre d'utiliser les situations de travail comme supports de formation des compétences. La réalisation de cette démarche est indispensable pour connaître les caractéristiques propres à un métier dans le but d'en améliorer son *status quo* ; elle est utilisée pour redéfinir un parcours de formation en soulignant les points critiques, pour cibler des problèmes de type logistique ou pour redéfinir des responsabilités. Le but de cette analyse peut être, notamment, la définition du ou des critères qui permettent d'évaluer la performance réalisée (Leplat, 2004). De ce fait, afin de réaliser une analyse cognitive de l'activité professionnelle produite par un individu, il est indispensable de connaître, en première instance, l'environnement de travail dans lequel la personne est amenée à agir. Il n'est possible de situer l'activité de la personne travaillant, par rapport à la situation donnée, à la résolution des

problèmes qui se présentent, à la planification et la mise en œuvre des stratégies dont la finalité est la réalisation de l'activité de travail, qu'une fois ces éléments éclairés.

L'objectif ultime de cette analyse est d'identifier les concepts organisateurs (ou les invariants opératoires) autour desquels l'action s'organise de façon efficace, afin de les formaliser, les expliciter et les enseigner. Ces concepts ne peuvent pas être directement observables ou mesurés *via* des instruments ni des concepts scientifiques ou des techniques. Ils ne peuvent être intégrés qu'en construisant une expérience dans le milieu d'activité où elle est réalisée. A titre d'exemple, Pastré *et al.* (2009) montre comment le concept de « bourrage » est important pour la conduite d'une production industrielle optimale. Afin d'atteindre cette condition constante de la machine, les opérateurs doivent mettre en œuvre une série d'actions et de gestes permettant de maintenir cet équilibre. Il ne s'agit pas seulement d'une série d'actions prédéfinies, mais davantage d'un processus qui nécessite un constant rééquilibrage. Pour aboutir à cette finalité, l'opérateur doit avoir complètement intégré ce concept afin de pouvoir mettre en œuvre des stratégies pour le maintenir. On parle alors de concept organisateur car les activités se coordonnent autour de ce dernier.

Dans l'activité quotidienne de travail, nous pouvons observer une articulation permanente entre les indicateurs observables (par exemple, la qualité du produit fabriqué donnée par le sous-vide dans les flacons, l'étiquetage *etc.*) et les concepts régulateurs. Les concepts pragmatiques possèdent en effet un double statut : ils sont un objet d'échange entre les personnels travaillant ensemble (par exemple, entre la personne expérimentée et le novice) et appartiennent à la prescription au sens large. De même, dans le cadre de la production dans les industries pharmaceutiques, il est possible de retrouver des concepts organisateurs pragmatiques tels que l'« étanchéité » ou la « désinfection ». Le nouvel arrivant, en faisant ses premières expériences auprès de la machine, ne comprendra pas d'emblée la différence et la limite entre un environnement étanche et un environnement légèrement humide. Ce concept d'étanchéité, qui est normalement connu et utilisé dans la vie de tous les jours, est également utilisé comme une norme dont a été informé le novice : « les zones à contact avec les produits doivent être étanches ». Ce dernier ne connaît cependant pas encore les indicateurs qui définissent l'étanchéité optimale d'une zone de production pharmaceutique. Dans les premières phases d'apprentissage, ce concept fait l'objet d'interactions et de communication, grâce à la combinaison de démonstrations et de verbalisations entre, selon le modèle de Vygotsky, la personne expérimentée et le novice qui, petit à petit, apprendra à maîtriser les indicateurs (mesurables) de l'étanchéité de la zone. Il est clair que la transmission ne suffit pas à posséder et intégrer un véritable concept pragmatique. En effet, il est nécessaire que la personne se fasse une représentation de l'objet (du concept) au travers de l'expérience située (dans la situation).

L'activité de travail consiste donc, en une série d'invariants opératoires et de concepts organisateurs qui sont, à leur tour, un système fini d'actions réalisées en situation.

Il se trouve que, pendant une activité de travail, il est demandé au travailleur de suivre des prescriptions ou des normes afin d'atteindre le but. Cependant, le travail réel présente, même pour le plus rigoureux des travailleurs, une déviation par rapport à la prescription, ce qui comporte un écart inévitable entre le travail réel et la tâche prescrite. Cette situation signifie que, dans l'activité de travail est toujours présent un système dynamique et dichotomique oscillant entre une activité de création, c'est-à-dire l'adaptation du comportement aux événements nouveaux impossibles à planifier à l'avance, et la norme qui affirme comment ce travail doit être accompli. Dans l'activité, la personne doit donc trouver le juste équilibre entre le cadre normatif du poste et la création-adaptation aux situations réelles. Ce ne sont donc pas uniquement les modalités de prescription de la tâche qui vont définir une situation de travail, mais aussi les éléments objectifs de la situation qui vont orienter l'activité de l'individu (Leplat, 1985 ; 2000).

Le travail réel effectué par une personne excède la simple prescription fournie par la tâche. Cela signifie donc que le travail possède « *une part irréductible de création, c'est-à-dire d'adaptation aux événements, et que ce réel du travail ne se réduit jamais à ce qu'on peut en planifier* » (Pastré 2002). Une nouvelle dimension est donnée par De Keyser et Nyssen (1993) qui parle de « la structure cognitive de la tâche ». Avec ce concept, il affirme que la perception des situations participe à l'orientation de l'activité.

L'analyse de la situation est donc l'une des nombreuses facettes de l'analyse du travail. Elle permet d'avoir une description aussi complète que possible de l'état des choses avant et après une activité effectuée par une personne. Il s'agit d'un diagnostic précis de la situation et des éléments qui y ont été modifiés qui permet de circonscrire les effets de l'action humaine. Cette analyse ne concerne donc pas seulement l'activité physique qui est réalisée par le travailleur, mais elle inclut, bien au contraire, toutes les composantes physiques et psychologiques, logistiques et opérationnelles qui tournent autour d'une figure professionnelle.

3.2.1. Les éléments caractérisant l'activité de travail

3.2.1.1. La tâche

La tâche est définie comme l'unité de mesure principale de l'activité, car elle indique ce qui est à faire, ce qui se fait, c'est-à-dire l'activité (Leplat & Hoc, 1983). Comme le remarquent ces auteurs, le concept de tâche évoque quelque chose qui doit impérativement être effectué suite à une prescription. Cependant, l'idée de tâche est toujours liée à celle d'activité, nécessaire à la

réalisation de l'obligation. Pour être réalisée, chaque tâche a besoin d'être encadrée par un ensemble de conditions que la personne doit remplir afin de diriger l'activité : toute activité possède un but, et des contraintes. Le but est le résultat final qui doit être atteint suite à la réalisation d'une activité ou un ensemble de tâches. Il guide l'activité, ou mieux, les actions que la personne met en œuvre pour que l'objectif final – le but en question – soit atteint. Tout but, pour être atteint, demande une activité qui ne peut pas être libérée de conditions. Ces conditions déterminent les contraintes auxquelles l'activité doit faire face pour atteindre le but. Leplat et Hoc (1983) définissent trois types de contraintes :

- contraintes sur les états : il s'agit des caractéristiques de base auxquelles la personne fait face lors du démarrage d'un projet. Par exemple, pour réaliser une écharpe (épaisse, fine, pour homme, pour femme), la personne aura à sa disposition un modèle et le matériel qui dicteront la forme finale de l'écharpe ;
- contraintes sur les opérations : il s'agit des modalités selon lesquelles les opérations doivent être réalisées. Ces modalités décrivent la validité et la pertinence de l'action à réaliser pour atteindre le but. Pour poursuivre sur l'exemple de l'écharpe, l'une des contraintes pour sa fabrication pourrait être l'exécution d'un point maille particulier. Le fait de se tromper dans la réalisation d'une seule maille obligerait à retirer la pièce ou à la recommencer totalement ou partiellement ;
- contraintes sur la procédure : il s'agit de l'ensemble des normes qui doivent être suivies pour finaliser le projet en question. Cette procédure doit être explicitée (sous forme de schéma). Elle prescrit les étapes qui doivent être impérativement exécutées. Toujours dans notre exemple de l'écharpe, il pourrait être possible que la personne soit amenée à réaliser un modèle qui prévoit l'ajout d'éléments de décors comme des strass ou des fioritures. Ces éléments doivent être assemblés selon une procédure qui est imposée. Le suivi non méticuleux de la procédure pourrait engendrer une déviation de la qualité du produit et nécessiterait de le retirer dans des rayons de vente ou de le refaire.

3.2.1.2. La tâche prescrite

La situation de travail est constituée de prescriptions qui dictent où, quand et comment certaines actions doivent être accomplies : la tâche prescrite. Il s'agit d'une tâche telle qu'elle est conçue par la personne (ou l'institution) qui est à l'origine de la commande de l'exécution. Cette tâche préexiste à l'activité, elle l'oriente et la détermine de façon plus ou moins précise. Par exemple, une tâche prescrite peut être une recette de cuisine, un SOP (*Standard Operation Protocol*, qui se traduit en français par Protocole Opérationnel Standard) dans le cadre d'une entreprise ou un mode d'emploi pour l'assemblage d'un meuble. La finesse et le détail concernant la description de ce qui doit être réalisé peuvent être de différents niveaux.

Pour qu'elle pose les bases de l'activité, la tâche prescrite doit définir les règles et le bon déroulé pour en guider l'action. Pour ce faire elle offre :

- une description détaillée de la procédure optimale présentée sous la forme d'étapes caractérisant un cycle de fabrication (par exemple, pour la procédure de lavage des mains : « ouvrir le robinet ; appuyer sur le distributeur de savon pour savonner les mains : d'abord la paume, puis le dos *etc.*) ;
- l'ensemble des règles et d'actions exprimant ce qu'il faut faire en cas de confrontation à une situation particulière (par exemple, « en cas d'anomalie dans le cycle de production, veuillez appeler la personne responsable », ou encore, « en cas de dégradation d'un élément de la tenue, veuillez entamer la procédure de déshabillage dans le sas personnel » *etc.*) ; et
- une description de l'ensemble des rapports de causalité entre les variables du système et les résultats (par exemple : « afin de ne pas contaminer le produit, il est nécessaire de maintenir le plus possible fermées les vitres de la machine » ou encore « une bonne documentation du dossier de lot, permettra un diagnostic rapide en cas de problème »).

3.2.1.3. L'activité réelle (ou tâche effective)

Dans toute tâche prescrite réside une partie implicite. Il s'agit de toutes les conditions matérialisées auxquelles celui qui exécutera la tâche va nécessairement se heurter et qu'il devra obligatoirement prendre en compte (Leplat & Hoc, 1983). Dans le cas de l'assemblage d'un meuble, la notice demandera de visser la vis mais elle ne dira pas si la vis doit être tournée vers la gauche ou vers la droite. Parfois, la tâche ne donne aucune information sur la manière dont elle doit être réalisée : la personne doit donc chercher par elle-même la solution ou la technique pour la réaliser. Il arrive parfois que la personne qui effectue la tâche, pour une raison ou pour une autre, ne soit pas celle qui est désignée pour la réalisation de celle-ci en raison, par exemple, d'un remplacement imprévu. En effet, une tâche prescrite peut être définie comme complète lorsqu'une personne, à un moment donné, peut l'exécuter sans devoir inférer des informations qui n'ont pas été fournies. De ce fait, une tâche incomplète, ou avec des informations implicites pour être réalisée demandera une réélaboration des informations propres à la personne qui seront réinterprétées et appliquées selon la situation et la façon dont elle est subjectivement perçue.

L'activité réelle représente donc l'ensemble des actions réalisées afin d'accomplir la tâche. Elle est le résultat, à la fois du fait de vouloir atteindre le but fixé, mais aussi des contraintes liées à la définition de la tâche prescrite que la situation présente. L'activité peut donc, se distinguer en deux types :

- de simples tâches d'exécution, qui correspondent à la mise en œuvre de mécanismes et compétences déjà acquises par le sujet ;
- des tâches de réélaboration, c'est-à-dire de recomposition de mécanismes déjà acquis pour réaliser une nouvelle activité. Ces dernières caractérisent l'apprentissage par la résolution de problème.

Le comportement, c'est-à-dire les actions physiques réalisées par la personne, représentent la preuve tangible de ses l'activités physiques et mentales. Néanmoins, des phénomènes non observables peuvent être à l'origine du comportement. Par exemple, la perception d'un stimulus ou le manque de concentration sont, dans certains cas, des phénomènes invisibles qui peuvent modifier, inhiber ou stimuler la réalisation d'une action, et donc, d'une activité.

« *L'activité ne répond pas toujours aux exigences de la tâche prescrite* » (Leplat & Hoc, 1983). La tâche effective est un modèle de l'activité qui peut être extériorisé ou intériorisé (Leplat, 2004), et qui peut donc avoir un impact sur l'activité produite. L'humain, de par sa nature, est poussé à analyser, interpréter et combler les incohérences ou l'implicite dont il fait l'expérience, et apporte donc des variations ou des innovations à la tâche prescrite. Ces variations peuvent être mises en place de façon arbitraire mais aussi dériver d'une mauvaise interprétation ou d'un ajustement personnel de la norme ou de la prescription. L'analyse du travail présente ici un rôle fondamental pour comprendre les raisons de la déviation de l'activité réalisée par la personne et fournir éventuellement les solutions ou les modifications qui rendraient l'activité plus adaptée.

Pendant l'analyse du travail effectué dans le cadre des entreprises pharmaceutiques préalablement à la conception du SG, nous avons observé que différentes modalités d'endossage des sur-bottes étaient mises en œuvre. Dans un cas, les sur-bottes étaient endossées après la tenue intégrale, alors que dans l'autre, elles l'étaient avant. Or, la tâche prescrite recommande que, pour réduire les risques de contamination, les sur-bottes doivent être endossées après la tenue intégrale (et en franchissant le banc²⁴) car les particules accrochées à leurs semelles, qui ont été, entre-temps, au contact du sol, risqueraient de contaminer la tenue intégrale lors de l'endossage. Cependant, comme nous l'avons anticipé précédemment, certaines entreprises ont changé leurs procédures, suite à la survenue d'accidents, à savoir la chute d'un collaborateur lors de l'enfilage des sur-bottes. Ainsi, l'entreprise a-t-elle choisi de privilégier la sécurité de la personne en risquant de dégrader les conditions de stérilité optimales de la tenue en adaptant sa

²⁴ L'endossage des sur-bottes, dans le cadre du travail de production d'une entreprise pharmaceutique, est un geste très important dans la lutte contre les contaminations. En effet le banc est un dispositif qui permet non seulement le confort de l'opérateur lors de son franchissement mais aussi assume un rôle de séparation physique entre le côté le plus sale et celui le plus propre de la pièce. Pour garder cet état de propreté, l'opérateur doit être vigilant pour endosser les sur-bottes l'une après l'autre en enjambant cette barrière physique.

prescription. L'examen du décalage entre tâche prescrite et tâche effective est indispensable pour réaliser une analyse efficace du travail.

3.2.1.4. Les conditions de travail

Afin de comprendre la raison des décalages par rapport à la norme, mais aussi pour donner du sens à l'écart entre la tâche prescrite et la tâche réelle, il est indispensable de faire une analyse des conditions de travail et de l'environnement, voire des contraintes auxquelles les techniciens sont soumis pour réaliser leur tâche. Souvent, les adaptations d'activité qui sont à l'origine des écarts avec la tâche prescrite, sont liées aux contraintes que l'environnement de travail fait reposer sur la personne. Ces déviations résultent donc d'une volonté de « faire de l'ordre » entre ce qui est censé se passer et la situation réelle.

A ce propos, Leplat (2004) remarque que les conditions de travail peuvent entraîner des conséquences différentes selon que les individus qui les affrontent sont débutants ou expérimentés. Cette affirmation nous sensibilise au fait que chaque personne est unique et que sa propre perception et ses propres représentations ne peuvent pas être sous-estimées si l'on veut réaliser une analyse du travail adaptée et éventuellement, évaluer son activité. Nous rejoignons Leplat (2004) lorsqu'il affirme l'importance de réaliser une analyse fine, sur le terrain : celle-ci permettra d'identifier les mécanismes de l'activité et de comprendre les modalités de fonctionnement (psychologique). Dans ce sens, l'analyse du travail entendue comme l'analyse conjointe de la tâche et de l'activité s'annonce indispensable, surtout lorsqu'on se propose de concevoir une formation.

Dans le cadre de cette thèse nous avons effectivement choisi d'entreprendre une analyse des conditions de travail afin de comprendre les raisons influençant la pratique professionnelle dans le sens d'un décalage entre la tâche prescrite et la tâche réelle en demandant aux techniciens de nous décrire l'organisation de leur journée de travail, les contraintes et les difficultés rencontrées ponctuellement et/ou les anecdotes qui leur ont appris comment traiter des questions particulièrement sensibles.

3.2.2. L'analyse du travail : une mise en pratique

D'autres méthodes d'analyse de l'activité, notamment dans la littérature américaine, sont tout aussi précises. Nous ne souhaitons cependant pas prendre cette orientation car nous estimons que le courant américain ne s'intéresse qu'à des variables « objectives » et « observables » et tend à réduire le travail humain à un processus que nous considérons trop positiviste. En effet pour ce dernier, l'analyse de la tâche et des compétences peut être effectuée aussi bien dans le travail, que dans le test d'utilisabilité ou dans les *problem solving* traditionnels.

On donne au sujet une ou un ensemble de tâches à réaliser. Cette approche positiviste considère ensuite la réalisation de la procédure et donc, la résolution du problème, sans prendre en considération les processus cognitifs qui ont été mis en œuvre par la personne. Tout en soutenant cette méthode d'analyse, Annett (1996) a mis en évidence les limites de l'analyse hiérarchique de la tâche (*hierarchical task analysis*) qui conduit souvent l'observateur à ne notifier que les phénomènes auxquels il s'intéresse, qu'il juge ce qui ne devrait pas se produire, comme par une espèce de filtre de perception. Cette méthode n'est donc qu'une espèce de mise en comparaison des comportements mis en place par une personne pour atteindre un objectif en fonction de la hiérarchie des actions qui lui ont été prescrites au départ. La performance finale pouvant être décrite comme une série de tâches organisées par un système de niveaux (Shepherd, 2001). De même, au même titre qu'une boîte noire (*black box*), la personne est notée sur des variables numériques qui donnent une mesure du nombre d'actions effectuées pour atteindre le but, le temps moyen employé pour sa résolution, voire le temps employé pour chaque tâche composant une procédure.

C'est la raison pour laquelle, dans notre thèse, nous avons tenu à nous éloigner du courant américain et choisi la méthode de la didactique professionnelle jugée comme étant la plus complète dans sa prise en considération de la complexité de l'être humain dans son activité.

Il devient de ce fait possible de définir l'activité comme « *tout ce que le sujet met en œuvre pour répondre à la tâche* » (Leplat & Hoc, 1983). L'activité n'est pas rigide ; elle se modèle, évolue, s'adapte selon les perceptions et les choix effectués par la personne qui la produit. L'évolution de l'activité donne comme résultat annexe une évolution de la tâche effective. Dans cette optique, nous pouvons, avec ces auteurs, définir l'apprentissage comme une « *évolution des buts et conditions considérés par le sujets* ». Afin d'atteindre cette évolution, la personne doit modéliser ses propres tâches effectives en intégrant les informations externes qui lui sont données, et qui auront éventuellement évolué à leur tour selon les besoins de la formation.

La figure 3 ci-dessous représente schématiquement une synthèse de l'activité réalisée suite à l'intégration des différentes approches théoriques que nous venons de décrire.

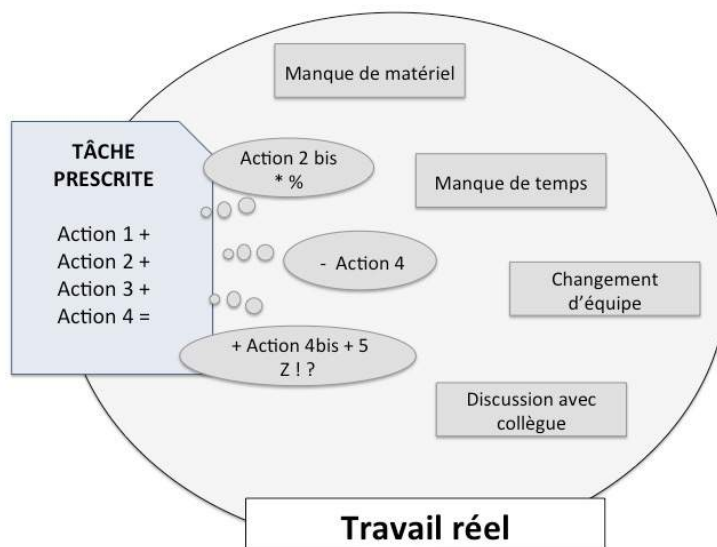


Figure 3 : *Les facteurs et les composantes du travail réel*

Dans la figure 3, nous pouvons observer la schématisation des composantes d'une activité de travail. Nous y retrouvons les tâches prescrites dont la réalisation est influencée par l'interprétation que le travailleur a de ces dernières et par les variables environnementales qui s'y intercalent. Le travail réel est donc le résultat de l'interaction de plusieurs facteurs qui composent une situation : la tâche prescrite, c'est-à-dire la procédure décrite pour atteindre un but, les conditions réelles de travail dans lesquelles la personne est amenée à agir et les représentations que la personne a de l'activité qu'elle est censée pouvoir réaliser. La tâche réelle correspond au résultat de l'interaction entre ces variables, c'est-à-dire les actions que la personne met en place pour atteindre le but. L'activité finale sera bien évidemment influencée par la qualité et le niveau de précision de la prescription, mais également par les choix que la personne aura faits pour combler les éventuelles incohérences entre la prescription et les conditions réelles de travail. Les représentations des travailleurs envers leurs propres activités jouent un rôle fondamental dans la réalisation de la tâche.

4. Vers la définition de la théorie de l'adaptation instrumentale

Les triangles de l'apprentissage : du socio-constructivisme au modèle de l'adaptation instrumentale.

Le chapitre 4 traite des théories de l'acquisition des connaissances dans leurs relations avec l'environnement et la société. Nous avons jugé fondamental, en effet, de parcourir tout le cheminement théorique qui nous conduira jusqu'à la définition de la théorie du conflit instrumental. Cette dernière nous permettra de mettre en lumière les concepts fondamentaux qui se trouvent à l'origine de notre conception du SG. Dans ce but, nous commencerons par présenter l'approche des théories de l'activité socio-constructivistes, puis la théorie de la genèse instrumentale de Rabardel (1995) qui se propose d'expliquer le processus d'acquisition des objets - ou artefacts - matériels et symboliques. Ces deux théories, bien qu'émanant de deux approches épistémologiques différentes, permettent d'expliquer le phénomène d'acquisition des connaissances et l'effet que l'environnement et la présence sociale ont sur ce processus. Sur cette base, nous pourrons plus facilement expliquer comment les objets d'apprentissage subissent une coévolution avec et à cause de l'environnement (notamment des nouvelles inventions – ou des nouveaux artefacts – comme l'exprimerait Rabardel). L'étape suivante sera celle d'expliquer le rôle des technologies informatiques dans l'apprentissage. Nous essayerons notamment de justifier les difficultés que provoquent les supports pédagogiques existants, à cause de leur possible inadaptation aux contenus pédagogiques et aux scénarios de présentation de ces derniers : ce sera l'apport de la théorie du conflit instrumental.

Nous verrons que cette théorie n'est pas totalement satisfaisante et nous proposerons un nouveau modèle qui fera l'objet d'une vérification (ou infirmation) dans la partie empirique de notre thèse. De plus, nous expliquerons comment le modèle de « l'adaptation instrumentale », qui est présenté dans la dernière partie de cet axe, est indispensable à l'ingénierie pédagogique de conception, non seulement des SGs, mais aussi de toute situation d'enseignement-apprentissage étant donné que, pour que cette situation soit la plus efficace pour l'apprenant, une adaptation optimale des artefacts qui la constituent s'impose.

4.1. L'acquisition de connaissances : de l'apprentissage « traditionnel » à l'intégration des technologies informatiques. Des théories de l'activité à la théorie du conflit instrumental

Dans ce chapitre, nous allons parcourir les théories qui traitent du processus d'acquisition des connaissances. Nous nous intéresserons plus précisément à l'approche constructiviste de l'apprentissage qui se fait grâce à la genèse instrumentale. Nous parlerons en l'occurrence des processus d'instrumentalisation et d'instrumentation des artefacts pour terminer par une définition du concept de conflit instrumental.

4.1.1. L'évolution des contenus d'enseignement

Il est arrivé à tout apprenant, à un moment donné ou à un autre, de s'être demandé pour quelles raisons il devait apprendre telle ou telle nouvelle notion. Chacun s'est demandé, au moins une fois dans sa vie, pourquoi il était nécessaire d'apprendre à calculer des intégrales, alors qu'on dispose d'une calculatrice qui nous permet de faire le même calcul dans un laps de temps infiniment plus court et en excluant la moindre erreur de distraction. A ce propos, Chavallard (2012) affirme que les programmes scolaires sont principalement choisis en fonction de trois critères. Le premier critère siège dans l'utilité d'une discipline pour la vie quotidienne de l'apprenant (notamment, l'algèbre élémentaire pour faire des calculs simples ou l'histoire pour devenir de bons électeurs et pour développer une conscience et une responsabilité nationales). Le deuxième est à rechercher dans la poursuite (semi-consciente) d'une tradition culturelle « car, nous l'avons toujours fait » : un bon disciple est en effet supposé connaître le patrimoine de sa propre culture ; il pourra la regarder, l'admirer. La troisième raison a pour finalité d'éduquer le citoyen : dans ce cas-là « *l'étude vise à faire connaître certaines œuvres en tant qu'outils et certaines activités déterminées que certains ont, ou auront à réaliser ; pas tous, certes, car cela dépend de l'histoire de chacun* ».

Si nous parcourons l'histoire de l'enseignement institutionnalisé, nous pouvons remarquer qu'au-delà des choix disciplinaires, l'évolution des contenus d'enseignement est profondément influencée par les technologies disponibles et, d'un point de vue historique, le développement de ces dernières. Dans la culture occidentale, par exemple, l'apprentissage oral et « par cœur » était dominant dans les institutions ecclésiastiques du Moyen-Âge jusqu'à l'invention de l'imprimerie en 1454. Ce sont, de ce fait, les technologies dominantes de diffusion comme celles de l'imprimerie, qui ont influencé les choix disciplinaires des 600 dernières années, et qu'on retrouve encore de nos jours à l'école.

Voici deux exemples de l'évolution des contenus d'apprentissage influencés par les techniques disponibles à un moment donné dans l'histoire de la civilisation.

Le goniomètre est un objet qui permet de mesurer l'amplitude des angles et se base sur un système de mesure qui a été conçu par les Babyloniens. En effet, en étudiant le mouvement des objets célestes, les Babyloniens avaient observé que, pour accomplir un cycle complet, le ciel mettait environ 360 jours (aujourd'hui, on parle d'un cycle de « révolution » de la terre qui s'accomplit en 365 jours). A la suite de cette observation, le pas vers la comparaison de la structure de la voûte céleste à la circonférence ou à l'arc de circonférence qui peut être tracé par l'ouverture d'un angle a été très court. Dans ce cas-là, c'est grâce (ou à cause) de la connaissance (et de la perception) de la terre dans son environnement céleste que le goniomètre a été développé de nombreux siècles plus tard. De la même manière, nous savons aujourd'hui que la géométrie plane de Pythagore et Archimède s'est développée suite aux éléments observés dans la nature.

Un autre exemple très significatif pourrait être celui du développement des formules mathématiques comme $\frac{a}{b} = a \times \frac{1}{b}$ que nous trouvons, aujourd'hui, dans les programmes de quatrième. À la fin du XIX^e siècle, cette méthode de calcul a été introduite dans les programmes scolaires dans le but d'apprendre aux élèves à accélérer la résolution des calculs de division les plus compliqués en minimisant les risques d'erreur. En effet, si on se projette dans la culture et les disponibilités techniques de l'époque, nous pouvons imaginer la difficulté de calcul que les commençants ou d'autres figures professionnelles devaient affronter dans la vie de tous les jours. Cette équation avait donc comme but d'apprendre aux personnes à accélérer le calcul et à minimiser la possibilité de faute. Une enquête historique montre que lorsque les calculs devaient être faits à la main et souvent de tête, sans support écrit, la division demeurait une opération « difficile ». Comment calculer alors le quotient de a par b ? Tout simplement en remplaçant la division par une multiplication par un inverse.

Voyons en détail la division de deux nombres relatifs en écriture fractionnaire

Si nous substituons des chiffres à l'équation $\frac{a}{b} = a \times \frac{1}{b}$ nous pouvons réaliser un calcul plus compliqué comme 73 : 5

Ce qui donne comme résultat $\frac{73}{5} = 73 \times \frac{1}{5}$

Nous sommes tous d'accord sur le fait qu'il est beaucoup plus facile d'exécuter le calcul 1 : 5 que 73 : 5.

Donc $\frac{1}{5} = 0,2$

Maintenant il s'agit de multiplier $73 \times 0,2$. Cela peut être fait en multipliant le 73 x 2 = 146 et déplacer la virgule du résultat une fois vers la gauche.

$73 \times 2 = 146$

En déplaçant la virgule d'une place 14,2

Avec ces deux exemples, nous pouvons dire qu'il n'existe pas un savoir qui est « toujours là » et auquel l'être humain a accès, au même titre que le monde des idées dont Platon avait fait l'hypothèse de l'existence. Les savoirs et les connaissances, en tant que construction et convention issues d'une culture, changent avec l'évolution des sociétés et des époques historiques. Suite à cette affirmation, nous pouvons attester que les technologies numériques peuvent avoir une influence importante sur la façon d'apprendre et que l'éducation des nouvelles générations, les méthodes d'enseignement et les techniques d'apprentissage sont profondément influencées et contraintes par ces « nouvelles techniques ». Aujourd'hui, par leur présence de plus en plus prégnante, les technologies numériques imposent de nouvelles contraintes qui nécessitent de redéfinir les contenus d'enseignement (Marquet, 2003 ; 2005).

Depuis une vingtaine d'années, nous sommes constamment confrontés à l'idée que les TIC modifieront notre façon de vivre, de ressentir et d'entretenir les relations, ce qui est, sans doute, en train d'arriver. Quand, dans les années 80, les premiers CD sont apparus, le grand public s'attendait à ce que cette technologie entraîne la disparition des livres. Dans les années 90, on pensait que le déploiement des hypertextes allait changer la façon d'écrire les histoires en passant d'une structure linéaire à des structures ramifiées et multimédias. A ce jour, le Web 2.0 nous ouvre des perspectives intéressantes en matière d'*e-learning*, notamment en termes de rupture de l'unité d'espace et de lieu. Concernant l'apprentissage, les médias nourrissent des rêves d'omnipotence, le ministère crée les conditions pour intégrer les TIC dans les écoles, et les familles s'équipent en attendant une « révolution » informatique qui devrait changer complètement notre façon d'apprendre. Néanmoins, les technologies numériques actuellement utilisées pour apprendre, n'offrent pas une véritable valeur ajoutée par rapport aux moyens classiques (Papert, 2003). Le déploiement rapide et toujours croissant des technologies de la communication cause une désillusion des attentes des usagers. Cependant, celles-ci font l'objet de nombreuses discussions au sein des institutions concernant leur employabilité dans le secteur éducatif (pensons au débat autour de l'utilisation des calculatrices, puis des ordinateurs, puis des tablettes...).

A l'ère de la communication *via* les technologies numériques, les experts de l'apprentissage cherchent à comprendre quelles sont leurs modalités d'usage, notamment d'Internet qui peut être mis au service de l'éducation et de la formation de façon efficace. Les technologies nouvelles et innovantes sont souvent intégrées dans les programmes et comme outils mis à disposition dans les institutions publiques comme les écoles et les universités, sans qu'une réflexion profonde préalable soit faite sur les possibilités d'usage de ces dernières. Souvent, l'ordinateur est utilisé pour visionner individuellement une vidéo qui aurait pu être diffusée à l'ensemble de la classe sur un écran plus grand ; les manuels scolaires sont numérisés

(et nous oserons dire scannés ou pdfisés), ce qui donne la possibilité de les obtenir en format numérique ; les programmes de géométrie tridimensionnelle sont souvent utilisés pour faire de la géométrie plane. En quoi, les technologies numériques pourraient-elles aider les apprentissages lorsqu'elles sont employées pour « moderniser » les apprentissages classiques ? Prenons l'exemple de l'invention du moteur à réaction. Que serait-il arrivé si, suite à l'invention de ce moteur à réaction, celui-ci aurait été appliqué à une automobile traditionnelle ? Pourquoi le même raisonnement en termes de « révolution » ne serait-il pas appliqué aux apprentissages ?

Aujourd'hui, nous sommes témoins de nombreuses tentatives de recours aux TIC dans des dispositifs d'apprentissage (Karsenti & Fievez, 2013). De multiples formations à distance ont déjà été mises en œuvre par différentes institutions mais qui, la plupart du temps, ne se montrent pas aussi efficaces que souhaitées. En témoigne un ensemble d'études qui traitent des « non usages » des TIC dans le cadre des études secondaires et supérieures (Marquet, 2012). Ce volume rend compte des difficultés d'adoption des TIC dans l'enseignement, qui vont des phénomènes comme le manque d'intérêt pour ces technologies, au manque de formation des usagers, en passant par les problèmes matériels (Trestini, 2012). La plupart du temps, les apprenants font état, d'une part, d'un sentiment d'isolement et, de l'autre, de leur difficulté à manipuler les outils que la plate-forme met à leur disposition. Mais ceci n'est qu'une seule application des technologies numériques mises à disposition actuellement.

Quelles sont donc les possibilités que les technologies informatiques offrent à l'apprentissage aujourd'hui ? Dabbagh (2005) en fait l'inventaire suivant :

- l'usage des graphiques est une stratégie utilisée pour présenter des éléments ou les variables d'une situation pratique ou d'une situation problème (par exemple, si nous nous intéressons aux espèces d'oiseaux, un tableau récapitulatif pourrait être présenté) ;
- l'intégration d'un fichier audio ou vidéo pour faire référence à un élément du monde réel (par exemple, une page Wikipédia, traitant les oiseaux pourrait proposer la possibilité d'écouter le chant de l'animal, présenté selon l'espèce) ;
- l'insertion d'éléments d'animation (2D ou 3D) pourrait être réalisée (pour reprendre le même exemple, les modalités de vol de chaque oiseau pourraient être représentées par des animations) ;
- des liens hypertexte/hypermédia peuvent donner la possibilité d'approfondir le sujet d'intérêt (par exemple, pour chaque typologie d'oiseau un lien pourrait être proposé pour renvoyer l'utilisateur vers la page dédiée) ;
- la manipulation directe des éléments qui est possible avec des technologies de simulation sur lesquelles l'utilisateur peut avoir un effet immédiat grâce à l'interface mise à disposition ;

- l'exploration de l'environnement et la facilitation du *problem solving* pourraient être une possibilité offerte par l'exploration et la simulation des environnements virtuels.

Ces nouvelles possibilités d'utilisation devraient être prises en considération lorsque l'on entreprend l'ingénierie d'une situation d'enseignement-apprentissage utilisant les technologies numériques. L'important est, une fois encore, de valoriser les possibilités offertes de façon à exploiter au maximum les avantages disponibles.

Ainsi, de la même manière qu'ont été construits les avions, en exploitant une invention nouvelle et révolutionnaire telle que le moteur à réaction, il est nécessaire de permettre une révolution dans les enseignements : il s'agit, en réalité, de concevoir de nouvelles pédagogies et de nouveaux enseignements capables de mettre en valeur ces inventions et d'effectuer une véritable révolution. La problématique posée est donc celle du choix ou de la conception des ressources pédagogiques et de l'adaptation des nouveaux contenus d'enseignement aux technologies informatiques.

4.1.2. La théorie de l'activité et le processus d'appropriation des outils

La théorie de l'activité a été développée dans les années 20 en Russie par les psychologues soviétiques Vigotsky et Leotiev. Cette théorie considère que la conscience se manifeste dans une pratique quotidienne. Par conséquent, la constitution de cette conscience et les actions qui en dérivent sont toujours insérées dans une matrice sociale qui inclut les individus et les artefacts.

Cette théorie, née en Russie pour des exigences d'organisation scientifique du travail centrée sur la productivité et sur l'optimisation, a été reprise par la suite dans le monde occidental par un chercheur finlandais Engeström dans une période très sensible de l'histoire européenne, celle de la chute du « rideau de fer », à la fin des années 1980.

Présentée par Engeström (1999), la théorie de l'activité, explicite la manière dont les individus peuvent acquérir une relation avec le monde extérieur. En d'autres termes, il s'agit de donner une explication du processus d'intégration des objets et des artefacts qui constituent la culture d'origine. Cette théorie est très utile pour comprendre comment un très grand nombre de facteurs peuvent coopérer afin de régler l'activité de l'individu. En effet, afin d'atteindre un but (c'est-à-dire une expérience ou l'acquisition d'une connaissance), l'activité humaine s'exerce par l'intermédiaire des artefacts qui peuvent être des objets matériels ou symboliques. De la même manière, cette activité est aussi influencée par la présence d'une communauté ou de l'organisation où elle est située. La communauté impose donc, dans une certaine mesure, ses propres règles de fonctionnement qui ont des effets sur l'activité de l'individu. Le sujet, par conséquent, agit dans (et avec) la communauté pour atteindre ses propres objectifs.

Engeström décrit l'activité comme le résultat d'un ensemble de cinq triangles. La figure 4 montre comment, dans l'activité de travail, les interactions entre les éléments du système (et des sous-interactions) permettent l'appropriation des objets de la part du sujet.

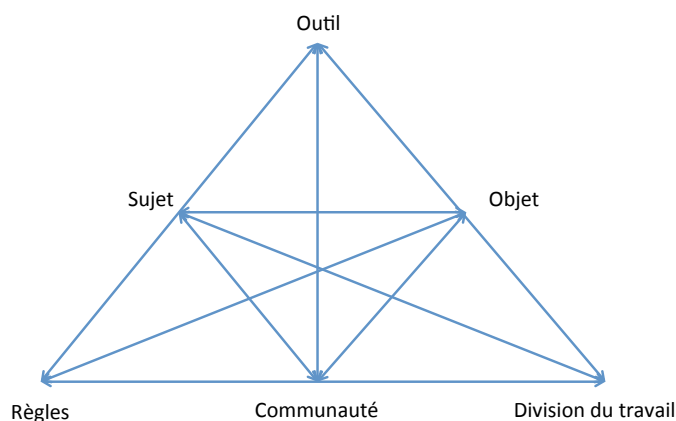


Figure 4: *Le triangle de Engeström*

Dans le cadre de notre recherche, et au vu de la complexité de cette théorie, il nous paraît plus pertinent de nous concentrer sur le triangle « sujet-communauté-objet », essentiel pour expliquer notre approche de l'apprentissage.

Tiré de la théorie socio-constructiviste de Vigotsky, ce triangle suggère que l'individu, en faisant l'expérience du monde extérieur et avec les autres membres de la communauté, arrive à construire une représentation des outils disponibles dans l'environnement. Par exemple, un enfant comprendra ce qu'est un crayon, seulement si un adulte ou un pair lui explique au préalable de quoi il s'agit et comment s'en servir. Sans quoi, l'enfant utilisera le crayon en fonction d'une représentation personnelle qu'il aura faite de l'objet. Cet exemple nous donne l'occasion de mettre en évidence l'une des différences fondamentales qui existe entre les êtres humains et les animaux : les humains sont en mesure de transmettre leurs outils à leurs enfants, ce qui est seulement possible pour les espèces animales les plus évoluées (les singes, par exemple). Si l'on pense à l'évolution de l'être humain, nous pouvons remarquer l'importance que revêt l'appropriation des outils dans l'histoire de l'humanité. En effet, à la différence de l'espèce humaine, qui accumule et transmet les connaissances, les animaux n'ont pas de bagage culturel et possèdent aujourd'hui les mêmes outils qu'ils possédaient il y a 500 mille années. Au contraire, les enfants d'aujourd'hui disposent d'un bagage d'artefacts et d'instruments qui ne sont pas comparables à ceux dont les générations précédentes disposaient; en fait nous transmettons, en tant que parents, les connaissances que nous avons apprises à notre tour et nous remplissons leurs bagages d'artefacts et d'instruments.

La deuxième idée qui s'inscrit dans le triangle de Vigotsky est que l'être humain est en mesure d'utiliser le langage comme outil permettant de transmettre les connaissances. Nous sommes encore une fois face à une importante différence entre les humains et les animaux : le langage. Le langage est un outil très puissant, car il permet la transmission du passé d'un sujet à l'autre et donc son apprentissage et son intégration dans l'expérience du destinataire du discours. Le langage est un outil à la fois spécifique à chaque culture et en même temps commun à toutes les cultures, car chacune en possède au moins un (langue parlée, signes des mains...). Le langage est transmis de parents à enfants et il est indispensable pour faire référence au monde qui nous entoure.

De ce fait, d'abord étudiant puis collègue de Vigotsky, Leontiev (1976) suggère que l'apprentissage humain peut être possible et seulement expliqué grâce à l'activité sociale des êtres humains et par leurs échanges. En effet, chaque communauté fait référence à ses propres objets : les sujets appartenant à une même culture ont besoin, pour communiquer, de partager le même système de référence et d'avoir en commun un langage qui leur permet de faire référence à cet environnement. Depuis le début de l'humanité, les communautés primitives connaissaient déjà l'exigence de nommer les éléments de leur environnement, et de faire référence à celui-ci afin d'avoir une interaction avec le reste de la communauté d'appartenance. Cette hypothèse pose les bases de la constitution d'une théorie selon laquelle l'apprentissage est le résultat des interactions humaines.

Dirigeons maintenant notre attention sur le second triangle qui est à la base de la théorie-clé de l'instrumentalisation des artefacts issus d'une culture. Il s'agit du triangle « sujet-objet-outil ». Rabardel propose des modèles de type constructiviste. Au cœur de ses recherches, il y avait la volonté de comprendre comment l'immersion d'un sujet au sein d'une structure sociale, contribue à la construction de l'intelligence du sujet lui-même, grâce à l'acquisition et à l'intégration de connaissances relatives aux objets présents dans l'environnement. La valeur ajoutée de la théorie de Rabardel (1995), par rapport aux théories traditionnelles russes, réside dans le concept d'*outil/instrument*. Pour Rabardel, une interaction entre un sujet et un objet n'est possible qu'au travers d'un outil qui est transformé en instrument. Néanmoins, pour qu'un objet matériel ou symbolique (artefact), soit transformé en instrument, il doit subir un processus appelé « genèse instrumentale » de la part du sujet.

4.1.3. L'approche de Rabardel : de l'artefact à l'instrument. La genèse instrumentale

Les travaux de Rabardel offrent une explication claire du processus qui permet aux artefacts de devenir instruments et donc, d'être manipulés physiquement ou intellectuellement

par les individus ou les groupes. Dans ce paragraphe, nous allons d'abord clarifier la différence existant entre artefact et instrument pour approfondir ensuite le processus qui permet cette transformation.

4.1.3.1. Artefacts et Instruments

Un *artefact* est un objet physique ou symbolique produit par un individu ou un ensemble d'individus et réalisé afin de répondre à un objectif précis. Néanmoins, s'il n'est pas utilisé, il continuera à rester un objet construit parmi d'autres. En effet, en étant produit par l'action humaine, il peut être transformé, développé et détourné par les individus ou les communautés. Le monde des êtres humains (et aussi de quelques espèces animales) est constellé d'artefacts physiques ou symboliques qui ont été inventés ou construits dans le but de répondre à une exigence précise. Les artefacts se transforment en *instruments* à partir du moment où ils sont utilisés par les individus afin d'atteindre un objectif. En effet, cette transformation en instruments est faite seulement une fois qu'un individu ou une collectivité leur a attribué une fonction et dès lors qu'ils ont été utilisés. Cela ne veut pas dire qu'à chaque artefact correspond une unique fonction ; au contraire, le même artefact peut offrir plusieurs possibilités d'utilisation.

L'instrument présente deux niveaux de définition :

- 1°) Il est défini comme un *artefact inscrit dans une situation* lorsqu'il est utilisé comme moyen d'action par un utilisateur. Il est donc le résultat de l'usage qu'un ou plusieurs individus font de l'artefact en activité.
- 2°) Il comprend à la fois, un artefact qui peut être symbolique ou matériel produit par le sujet et des *schèmes d'utilisation* qui y sont associés et qui peuvent résulter d'une interprétation propre du sujet (ou de plusieurs sujets), ou d'une application diffusée de schèmes socialement construits.

Ces deux dimensions entretiennent une relation d'interdépendance relative. En effet, le même schème d'action peut être appliqué pour différents artefacts (appartenant à la même classe d'objets) et un artefact peut se prêter à différents schèmes d'utilisation. Pour donner un exemple, si nous prenons une bouteille en plastique ou un verre, nous utiliserons le même schème d'action afin de prendre l'objet avec la main, l'approcher des lèvres et l'incliner de 45, 55 ou 70 degrés afin que le liquide puisse arriver dans la bouche. Dans ce premier cas, la bouteille et le verre partagent le même schème d'action. Inversement, nous pouvons utiliser une feuille de papier pour prendre des notes ou pour faire des pliages. Dans ce deuxième cas, nous appliquons deux schèmes d'action pour le même artefact. Si nous regardons ces deux exemples à la lumière de l'instrumentalisation et de l'instrumentation des artefacts, nous pouvons dire que, dans le

premier exemple, le verre et la bouteille peuvent être considérés comme un même instrument, alors que dans le deuxième exemple, la feuille de papier est utilisée avec une finalité différente : il s'agit donc de deux instruments différents : le premier pour prendre des notes, le deuxième comme objet de décoration. Durant l'utilisation, les fonctions initialement prévues et conçues pour cet artefact – *fonctions constitutantes* – sont modifiées au cours de l'usage de l'outil. Ces fonctions nouvelles – *fonctions constituées* – ressortent pendant l'activité et en fonction de la situation.

Chaque artefact s'enrichit des possibilités et des modalités d'usage et d'interaction, au fur et à mesure de son utilisation et des interprétations que les individus en ont fait pendant les différentes situations. Rabardel (1995) appelle « *palette de champ instrumental de l'artefact du sujet* » l'ensemble des schèmes d'utilisation de l'artefact, ainsi que l'ensemble des objets sur lesquels il permet d'agir.

Les *schèmes d'utilisation* sont donc définis comme une organisation active de l'expérience vécue qui intègre le passé et qui constitue une référence pour interpréter des données nouvelles (Béguin & Rabardel, 2000). Par exemple, l'introduction du dispositif de carte bancaire avec la puce (*micro-chip*) a posé des problèmes aux utilisateurs lors de leurs premiers usages. En effet, les personnes, habituées à faire glisser leur carte dans le lecteur magnétique lors du paiement, appliquaient le même schème d'action pour le paiement avec la nouvelle carte. L'intégration du schème d'insertion de la carte dans le lecteur pour finaliser un paiement a requis deux, trois, dix erreurs avant de faire partie de la pratique quotidienne. En 1930, Piaget considérait déjà les schèmes d'action comme les moyens à disposition du sujet pour assimiler les situations et les objets auxquels il est confronté : il s'agit de la structure ou l'organisation des actions telles qu'elles se transfèrent ou se généralisent lors de la répétition de cette action en des circonstances semblables ou analogues.

Rabardel (1995) distingue trois types de schèmes :

- 1) les *schèmes d'usage* renvoient à l'interaction du sujet avec l'artefact ;
- 2) les *schèmes d'action instrumentés* sont dirigés vers l'objet de l'activité et convoquent les schèmes d'usage pour atteindre les buts poursuivis ;
- 3) les *schèmes d'action collective instrumentés* font référence à l'utilisation collective de l'artefact par plusieurs sujets, simultanément ou conjointement.

Les schèmes sociaux d'utilisation font donc référence à la dimension sociale de l'attribution de ces schèmes relativement à un artefact. Leur mode d'acquisition se fait justement dans le contexte social. Prenons l'exemple de l'artefact symbolique qui consiste à se présenter à une nouvelle personne ; il est nécessaire de savoir que chaque pays ou culture adopte un schème qui est propre aux personnes appartenant à cette culture d'origine. L'étranger devra apprendre

à mettre en action ce même schème pour pouvoir être accepté et intégré dans la communauté ou culture d'accueil.

Rabardel (1995) développe une approche particulière de l'appropriation des objets techniques qui s'inscrit dans le cadre plus général de la théorie de l'activité. Pour cet auteur, les artefacts, comme nous l'avons déjà signifié, peuvent être de deux sortes : d'une part des objets matériels fabriqués, donc des outils, d'autre part, des objets symboliques construits. Ces derniers sont également appelés connaissances. Les connaissances, au même titre que les autres objets matériels, nécessitent pour être acquises (et donc instrumentalisées/instrumentées) le même processus de genèse instrumentale que nous allons expliquer et décrire maintenant.

4.1.3.2. La genèse instrumentale

La genèse instrumentale est le processus qui rend compte de la transformation de l'artefact en instrument. Ce concept permet d'expliquer à la fois l'évolution des artefacts liés à l'activité de l'utilisateur et l'émergence des schèmes d'utilisation.

La force de la théorie de la genèse instrumentale réside dans le fait que Rabardel, pour la première fois, positionne sur le même plan les artefacts produits par l'être humain, qu'ils soient matériels (tools) ou symboliques (knowledge). Le sujet a donc la possibilité d'instrumentaliser et d'instrumenter (donc de transformer en instrument) les deux types d'artefacts grâce à un processus de genèse instrumentale, qui donne le nom à cette théorie.

Un outil ou une connaissance est instrumentalisé, c'est-à-dire que le sujet lui attribue une fonction, et il est instrumenté dans le sens où le même sujet adapte ses connaissances disponibles pour l'y intégrer. Bien qu'elles soient distinguées en tant que processus, l'instrumentalisation et l'instrumentation s'opèrent de manière simultanée et non intentionnelle et, ensemble, constituent la genèse instrumentale. Voyons ces deux mouvements avec plus de détail :

- L'instrumentalisation désigne le mouvement du sujet vers l'artefact. Le sujet, devant l'artefact, lui attribue des fonctions. Donnons un exemple : lorsqu'on se trouve dans un musée préhistorique, on est souvent face à des outils dont on ne connaît pas la fonction. Cette fonction est souvent attribuée en fonction de ce que la personne connaît déjà sur le monde et sur les objets qui sont similaires au nouvel objet. Ainsi, dans le dessin animé de Walt Disney « La petite Sirène », Ariel trouve pour la première fois une fourchette. Elle l'utilise lors d'un repas pour se coiffer car elle avait attribué à cet objet la fonction de peigne.
- L'instrumentation désigne le mouvement de l'artefact vers le sujet. L'intégration de ce processus implique la modification des schèmes d'action et de pensée du sujet. Il s'agit d'un processus d'apprentissage : les schèmes d'apprentissage du sujet évoluent, se transforment

et dans certains cas se créent en s'incorporant dans des schèmes précédents. L'artefact présenté crée de nouveaux schèmes d'action dans le sujet.

Instrumentalisation et instrumentation sont deux processus de la genèse instrumentale qui se déroulent au même moment et non l'un à la suite de l'autre. Il s'agit d'un processus qui n'est pas contrôlé par la volonté humaine. L'individu est naturellement amené à attribuer des significations au monde qui l'entoure. L'instrumentalisation est conduite par l'instrumentation parce que nous ne pouvons pas attribuer une fonction à un objet si on ne l'a pas apprise auparavant. De même, l'instrumentation est une contrainte pour l'instrumentalisation, c'est-à-dire qu'il est très difficile de changer la vision de la finalité que nous avons d'un objet une fois que nous l'avons instrumenté.

4.1.3.3. De la genèse instrumentale appliquée aux apprentissages à la théorie du conflit instrumental : artefacts didactiques, pédagogiques, techniques

Nous pouvons ainsi appliquer la théorie de Rabardel (1995) pour expliquer l'instrumentation et l'instrumentalisation des contenus d'enseignement dans le cadre des apprentissages. Dans cette optique, nous allons d'abord définir les éléments (sujets, objets, artefacts) qui caractérisent toute situation d'apprentissage.

- Une situation d'apprentissage standard se fait en présence d'un ou plusieurs sujets : un seul individu dans le cadre d'un apprentissage autonome (étude individuelle), deux ou plusieurs individus dans le cadre d'un apprentissage collaboratif ou d'un cours collectif (enseignant(s) et élève(s)).
- Tout apprentissage a comme objectif l'acquisition d'un objet X, un savoir ou une connaissance. Cet objet peut être une théorie, une opération arithmétique, une règle de grammaire, une conduite motrice.
- L'enseignant ou la personne qui assume le rôle de véhiculer l'apprentissage afin de faciliter l'acquisition de la connaissance ou de l'objet X, crée un scénario, un formalisme de représentation ou, autrement dit, une histoire qui puisse rendre l'objet X ou la connaissance plus accessible à la compréhension de l'élève et à l'intégration de la connaissance.
- Des outils sont toujours nécessaires à l'enseignement et à l'acquisition de l'apprentissage. Ils véhiculent, en effet, la pédagogie qui est utilisée pour que cet apprentissage soit efficace. Il peut s'agir d'un tableau, du papier et des crayons, d'une table arithmétique, d'un goniomètre *etc.*

Dans le cas, par exemple, de la multiplication arithmétique dans une situation de classe, nous avons un enseignant qui présente l'objet « multiplication ». Afin de rendre clair le concept de multiplication, l'enseignant utilise plusieurs exemples ou histoires afin de le rendre

compréhensible aux enfants : il raconte, d'abord, l'histoire de X, Y, Z ayant 2 crayons chacun, puis il additionne $2+2+2$, puis il crée des tableaux, *etc.* Ces exemples représentent les différentes histoires utilisées. Pour expliquer l'histoire, l'enseignant a besoin de supports pour garder une trace, dessiner, *etc.*

Or, si nous faisons référence à l'approche de Rabardel (1995), nous pouvons remarquer que le processus d'apprentissage, ayant pour but l'acquisition d'un objet, peut être décrit par l'ensemble des processus d'instrumentalisation et d'instrumentation des artefacts présents dans la situation d'apprentissage.

- L'objet d'apprentissage (la multiplication arithmétique) est considéré comme un artefact didactique. Il s'agit d'un artefact inventé par l'homme afin d'effectuer des calculs de façon plus rapide et efficace.
- Les histoires et les formalismes de représentation utilisés pour faciliter l'accès à la connaissance sont considérés comme des artefacts pédagogiques. L'enseignant crée un discours qui est compréhensible pour l'enfant afin que ce dernier puisse accéder à la connaissance.
- Les outils utilisés comme supports à l'apprentissage (les tableaux, les livres, l'abaque *etc.*) ont été fabriqués pour faciliter l'apprentissage et pour donner une forme physique aux informations symboliques en les rendant plus accessibles (le papier et les crayons sont notamment utilisés afin d'avoir une trace écrite de l'exercice et pour permettre à l'apprenant de consulter ultérieurement). Il s'agit donc d'instruments grâce aux actions sur l'objet.

Pour faire aboutir l'acquisition d'une connaissance, il est indispensable que l'apprenant fasse l'expérience du processus d'instrumentalisation de tous les artefacts nécessaires à l'accomplissement de l'apprentissage. A titre d'exemple, une personne qui veut apprendre le concept de « triangle » devra comprendre et acquérir le discours pédagogique qui explique comment construire un triangle (trois traits, une figure plane, fermée *etc.*). Selon notre approche, la dimension technique. En effet, pour pouvoir intégrer complètement le concept de triangle, l'apprenant doit savoir le dessiner. Pour dessiner un triangle, il faut s'appropriier les objets matériels nécessaires pour le faire : il est indispensable d'avoir instrumentalisé l'usage du papier, du crayon, de la règle, de la gomme, *etc.*

Marquet (2003 ; 2007 ; 2011) et Duval (1995) appellent respectivement « objet didactique » et « néosis » le contenu d'enseignement ou « objet pédagogique » et « sémiosis » le formalisme de représentation donnant accès à l'objet didactique. Le contenu d'enseignement est inséparable et est donc influencé par la façon dont il est présenté lors d'un apprentissage. Une fois encore, pour donner l'exemple de la multiplication arithmétique, ses différentes modalités

de représentation (écriture additive, calcul progressif, écriture en ligne, écriture en tableau) symbolisent les différentes approches utilisées pour expliquer le même contenu. Dans le cadre d'un enseignement, l'enseignant ou le formateur met en place un découpage des différentes séquences d'enseignement selon l'idée qu'il se fait du meilleur scénario ou de la représentation la plus pertinente (artefact pédagogique). Ainsi, tout objet didactique est associé à des objets pédagogiques qui comportent plusieurs facettes : le ou les formalismes de représentation de la connaissance à acquérir et le mode d'organisation du discours pédagogique par lequel cette connaissance est présentée. Ce qui est enseigné est constitué d'un objet didactique et d'un objet pédagogique qui font chacun l'objet d'une appropriation, c'est-à-dire d'une double genèse instrumentale. Afin d'intégrer une connaissance, l'apprenant doit s'approprier à la fois la dimension pédagogique (formalisme, discours) et la dimension didactique (connaissance). De même, le discours pédagogique et le formalisme de représentation doivent être compatibles avec les possibilités de visualisation et d'action offertes à l'utilisateur-apprenant.

4.1.4. L'intégration des technologies informatiques et le conflit instrumental.

L'introduction d'un artefact technique, tel qu'un logiciel ou les technologies informatiques, ajoute à la situation d'enseignement-apprentissage un nouveau niveau d'appropriation : celui du logiciel lui-même. Au-delà de l'appropriation des modalités d'usage de l'outil, la vraie difficulté se trouve dans les modalités d'intégration des objets didactiques et pédagogiques dans l'outil informatique. Il n'a pas été observé dans les situations d'échec des apprentissages avec les technologies informatiques, le fait que les concepteurs de ces apprentissages adaptent des artefacts didactiques et pédagogiques « traditionnels » à un nouvel outil. À ce titre, on ne peut s'attendre à ce que des combinaisons d'objets didactiques et d'objets pédagogiques fonctionnant dans une situation classique d'enseignement puissent fonctionner dans une situation d'*e-learning*. Faute d'ingénierie digne de ce nom, on observe de nombreuses incompatibilités entre les objets didactiques et pédagogiques qui sont associés à l'objet technique (Artigue, 2002). Il s'agit d'un conflit instrumental.

En somme, nous pouvons dire que le concept de conflit instrumental permet de prendre conscience d'une problématique, celle des dérives des technologies informatiques, sans que soit soulignée la nécessité d'une réflexion profonde et d'innovation mises en œuvre pour ces nouveaux apprentissages. C'est la direction que nous souhaitons prendre dans le cadre de la conception de notre SG pour la formation des personnels travaillant avec des produits sensibles en environnement stérile.

Dans sa théorie du conflit instrumental, Marquet (2011) souligne la nécessité d'une adaptation optimale des artefacts présents dans une situation d'apprentissage. Basé sur la genèse instrumentale, son modèle rend compte d'une double instrumentalisation/instrumentation, c'est-à-dire à la fois de l'acquisition du discours pédagogique, donc la compréhension profonde de la part de l'apprenant et en même temps, de l'accès à l'objet d'apprentissage, à savoir, l'objet didactique. Il est seulement possible d'atteindre un apprentissage efficace si ces deux artefacts sont adaptés entre-eux de façon optimale. Si l'on prend en considération les apprentissages utilisant les technologies digitales, il faut également prévoir un processus ultérieur d'instrumentalisation/instrumentation : celui de l'artefact technique qui se rajoute au système d'apprentissage.

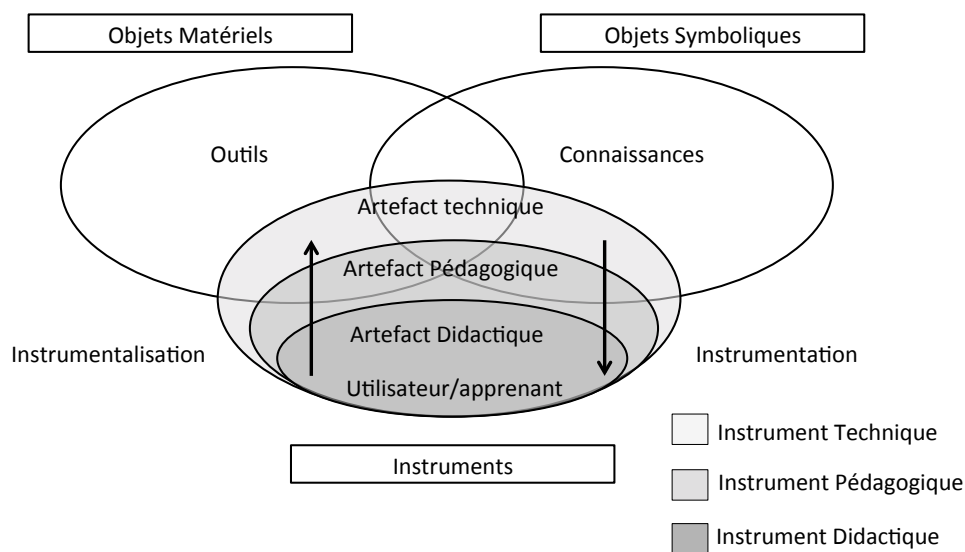


Figure 5 : Genèse instrumentale d'après Marquet (2011)

Comme nous le montrons dans la figure 5 Marquet reprend la structure du schéma de la genèse instrumentale de Rabardel auquel il intègre un système de trois artefacts caractérisant une situation d'apprentissage *via* les nouvelles technologies. Imbriqués les uns dans les autres, ces trois artefacts se disposent selon leur proximité par rapport à l'apprenant. En étudiant ce schéma dans le détail, nous pouvons remarquer que les artefacts techniques comprennent l'ensemble des technologies utilisées pour accéder à l'apprentissage ; les artefacts pédagogiques représentent le scénario utilisé pour pouvoir accéder au contenu ; les artefacts didactiques font l'objet de l'apprentissage. Dans le schéma, Marquet explique que, pour pouvoir finaliser un apprentissage adapté, il est indispensable que l'apprenant atteigne l'instrumentalisation/instrumentation des trois types d'artefacts.

Marquet (2011 ; Marquet & Coulibaly, 2007), illustre également les trois types de conflits instrumentaux qu'on peut retrouver dans le cas de l'échec à l'adaptation des artefacts didactiques, pédagogiques et techniques.

Nous allons reprendre ici ses propres exemples qui visent à comparer des formes artistiques traditionnelles avec les méthodes d'enseignement disponibles :

- Le roman crée des histoires et donne la possibilité de décrire en profondeur les caractères physiques et psychiques des personnages. L'accès à cette œuvre d'art peut être fait par l'utilisateur en autonomie. Le genre roman, qui utilise comme support le papier et l'imprimerie, peut être comparé au manuel scolaire pour lequel l'accès à l'objet didactique se fait à travers la lecture ;
- Le théâtre présuppose l'action unique autour d'un accident et une interaction des personnes vivantes, dans un scénario qui est directement observable et, des fois, expérimentable à la première personne comme, dans le cas du théâtre participatif, par le public qui y assiste. Chaque représentation théâtrale est unique et jamais reproductible à l'identique. Pour y assister, le public doit pouvoir se déplacer. Ce support artistique peut être comparé à une situation d'apprentissage en classe, l'accès à l'objet didactique se faisant à travers l'action et le discours ;
- Comme le théâtre, le cinéma présuppose la création d'une action autour de laquelle l'histoire se déroule. La différence la plus importante par rapport au théâtre, est que l'action est filmée à l'aide d'une technologie importante qui permet une très grande diffusion du même produit à l'identique dans tous les coins du monde. Au cinéma, il n'est pas indispensable d'avoir une unité de temps. Les lieux où se déroule l'action peuvent être variés et font même parfois l'objet de la cinématographie. Cette technologie permet une grande flexibilité de son public : il est possible d'aller dans une salle de cinéma, aussi bien que de rester chez soi. Il peut être vu par n'importe qui à tout moment du jour et de la nuit. Nous pouvons comparer cette technologie à l'*e-learning*.

Suite à ces trois exemples, Marquet explique les trois types de conflits qu'il est possible de retrouver dans le cas d'une non-adaptation des artefacts didactiques, pédagogiques et techniques dans une situation d'apprentissage avec le support des technologies numériques :

- Le premier type de conflit instrumental peut être inspiré de l'exemple du théâtre filmé : celui-ci ne peut être défini, ni comme théâtre ni comme cinéma. Cette production se caractérise par l'introduction d'une technologie (l'enregistrement *via* les caméras) d'une situation artistique dont *les schémas narratifs sont parfaitement au point, mais qui est dénaturée lorsqu'elle est filmée et puis diffusée* (Marquet & Coulibaly 2007 ; Marquet, 2011). La même chose est observable lorsque les ressources pédagogiques déjà existantes sont numérisées pour être accessibles à distance (manuels numériques, vidéo en ligne *etc.*). Même si le discours pédagogique n'est pas changé, le système technique lui fait perdre une partie du bénéfice (Dessous & Marquet, 2003 cités par Marquet, 2011).

- Le deuxième type de conflit correspond aux histoires qui sont peu ou pas du tout adaptées au cinéma et où l'ambiance est beaucoup plus importante que les personnages et leurs histoires. Souvent, dans le meilleur des cas, nous avons comme résultat un film quasi-documentaire qui laisse le spectateur s'ennuyer ou qui ne comprend pas le but de la production artistique. La même chose est observée dans le cas où les scénarios des situations *e-learning* ne correspondent pas à l'acquisition des connaissances demandées. Pour donner un exemple, il n'est pas possible de proposer une plate-forme de formation à distance pour un enseignement qui prévoit l'acquisition des connaissances relatives au code civil, car ce dernier demande un apprentissage par cœur des normes et des règles. Ou encore, il n'est pas possible de proposer une plate-forme de formation collaborative reposant donc sur une dynamique de groupe, sans fournir aux apprenants les dispositifs de *chats* ou de visioconférence.
- Le troisième et dernier exemple de conflit instrumental est l'adaptation ratée. C'est le cas, par exemple, de l'adaptation d'un grand roman où les personnages et l'histoire, pour une question de durée du film, se trouvent ne pas être traités avec la même profondeur avec laquelle il le sont dans le roman. L'expérience de la déception, après avoir vu le film tiré de notre roman préféré, est commune à tout le monde. Il est possible de vivre la même expérience lorsque des connaissances, ne pouvant pas être acquises avec des moyens numériques, sont numérisées à tout prix. C'est ce que l'on observe lorsqu'un logiciel, créé pour la géométrie dynamique, est utilisé pour faire de la géométrie classique (il va de soi qu'il est plus immédiat de dessiner une figure plane sur un tableau qu'avec un logiciel sur ordinateur).

Les difficultés que les utilisateurs peuvent retrouver face aux apprentissages avec les technologies informatiques peuvent être de trois ordres :

- didactique, dans le sens où un contenu d'enseignement n'est pas « scénarisable » pour la situation d'e-learning : la question qu'il faut se poser dans ce cas est d'ordre de ce qui peut être enseigné avec les supports numériques ;
- pédagogique, dans le cas où les fonctionnalités que l'environnement numérique offre aux apprenants ne correspondent pas aux actions que les connaissances à acquérir nécessitent : dans ce cas, l'ingénieur pédagogique doit se demander si les manipulations intellectuelles nécessaires à l'apprentissage sont reproductibles avec des systèmes numériques ;
- technique, si l'environnement numérique ne permet pas d'accéder à la représentation ou au discours pédagogique qui accompagne les contenus d'enseignement choisis : ici la question est de comprendre si les technologies numériques employées prédisposent de la malléabilité ou de la polyvalence requises (Marquet, 2011).

La conclusion que nous pouvons déduire de ces trois exemples est que, même si le cinéma peut reproduire ou s'inspirer d'une autre production artistique (roman ou théâtre), il est indispensable que les histoires qui y sont racontées soient mises en scène de façon radicalement différente et ne pas donner lieu qu'à une simple et faible adaptation. Le processus d'innovation et de restructuration des artefacts pédagogiques et didactiques est indispensable pour les apprentissages *via* les technologies numériques.

4.2. Limites du conflit instrumental et modèle de l'adaptation instrumentale

Dans ce chapitre, nous allons présenter une évolution de la théorie du conflit instrumental sur la base de deux nouveaux apports scientifiques : nous allons, tout d'abord, en critiquer les points de faiblesse et les possibilités d'amélioration de la théorie vis-à-vis de l'observation empirique du processus d'apprentissage. Nous allons ensuite intégrer l'apport théorique d'un groupe de chercheurs nord-américains, la TPACK - *Technological Pedagogical and Content Knowledge* (Koehler & Mishra, 2009), qui traite de l'intégration des artefacts techniques, pédagogiques et didactiques (*content knowledge*) lors d'un enseignement véhiculé par les technologies informatiques. Nous proposerons enfin un modèle original qui explique comment a lieu le processus d'apprentissage en faisant des parallèles entre les méthodes traditionnelles et numériques.

4.2.1. Les artefacts techniques transparents et opaques

Bien que la théorie du conflit instrumental se montre très pertinente pour expliquer l'exigence d'adaptation des artefacts didactiques et pédagogiques dans le cas d'un apprentissage utilisant les technologies informatiques, elle révèle cependant une faiblesse au niveau de la définition de la place des artefacts techniques dans les situations d'apprentissage dites « traditionnelles ».

En effet, dans son modèle, Marquet (2003 ; 2005 ; 2011) ne parle d'artefact technique que dans les situations d'*e-learning*. Nous affirmons, au contraire, que les artefacts techniques sont tout aussi présents dans les situations d'apprentissage dites « classiques ». Par conséquent, lorsqu'on parle d'apprentissage « traditionnel », le processus d'instrumentalisation des artefacts techniques n'est pas pris en considération dans ce modèle. Nous pouvons donc affirmer que la non-prise en considération des artefacts techniques dans le cadre des apprentissages traditionnels et par conséquent l'absence de leur genèse instrumentale est à considérer comme une « faille » de la théorie du conflit instrumental.

En effet, comme nous l'avons déjà mentionné, les matières et les situations d'apprentissage ont été le fruit d'une longue évolution : les artefacts didactiques et pédagogiques ont été, à la fois, la cause et le résultat de l'évolution des technologies utilisées pour enseigner et apprendre. Aussi, pour argumenter notre critique, nous ferons référence la théorie de TPACK de Koehler & Mishra (2009). Cette théorie suggère qu'il est possible de considérer des artefacts tels que le crayon, le papier, le boulier *etc.* comme des artefacts techniques caractérisés par une spécificité fonctionnelle (le crayon sert à écrire, le papier à avoir un trace de l'écrit, le boulier à compter dans l'ordre des dizaines et des centaines), par une certaine stabilité (les objets en question ont gardé la même forme et la même fonction pendant plusieurs siècles) et leur fonction est transparente car leur forme suggère leur finalité (sauf dans le cas du boulier, qui pourrait être utilisé, par exemple, comme décoration ou comme jouet). Comme le soulignent Bruce & Hogan (1998), ces artefacts techniques utilisés dans le cadre des apprentissages traditionnels offrent des caractéristiques de transparence dans leur utilisation, qui sont liés au fait que, très rapidement, les personnes en font l'expérience dans des contextes d'apprentissage. Par exemple, dans le cas de l'apprentissage de l'écriture, l'artefact technique (le stylo) est complètement acquis de façon adaptée et « invisible » par l'apprenant. Dans ce cas, nous parlons d'artefacts « transparents » (papier-crayon), et l'acquisition se fait de façon intégrée à l'apprentissage visé : c'est-à-dire que la personne apprend à écrire en utilisant le stylo et, en même temps, elle apprend comment réaliser des signes pour tracer des lettres ou des chiffres. En effet, si nous repensons à notre expérience de l'apprentissage de l'écriture, ou encore, à celle de la mesure de l'amplitude des angles, nous pouvons nous souvenir des efforts et des nombreux essais que nous avons faits pour nous approprier cet objet et pour nous en servir de la façon la plus adaptée. A la suite des premiers essais, l'acquisition de la maîtrise de l'objet matériel (ou technique) se fait de façon rapide et efficace. Dans le cas des apprentissages traditionnels, l'apprenant expérimente une parfaite cohérence des outils qu'il apprend à utiliser et, rapidement, atteint le but fixé : écrire ou mesurer l'amplitude des angles. Dans ces circonstances, l'apprentissage est défini comme efficace grâce à une parfaite adaptation des artefacts techniques, pédagogiques, didactiques qui le construisent lui-même. Une fois de plus, l'adaptation de ceux-ci dérive d'une évolution des contenus d'enseignement faite par rapport aux techniques disponibles à un moment historique donné (voir l'exemple du goniomètre et ou du calcul algébrique « $a/b = a \times 1/b$ »).

Ce qui crée le décalage dans les situations d'*e-learning* c'est que les technologies numériques sont, aujourd'hui, poussées à être employées dans le secteur de l'éducation, sans pour autant qu'il y ait une véritable adaptation des contenus d'apprentissage à l'infrastructure technique présentée. Ce qui donne comme résultat une reproduction très sommaire des contenus des manuels scolaires sur un écran d'ordinateur.

Nous souhaitons ici corriger et redéfinir la théorie du conflit instrumental et proposant une ré-évaluation de la place des artefacts techniques dans toute situation d'apprentissage.

4.2.1. Artefact technique ou artefact médiatique ?

Si nous analysons davantage la nature des artefacts impliqués dans le processus d'apprentissage au moyen des technologies informatiques, nous pouvons remarquer que les notions d'opacité et de transparence des artefacts ne sont pas toujours suffisantes pour expliquer les différences intrinsèques entre les artefacts utilisés lors des apprentissages. La complexité de cette catégorisation a été la difficulté rencontrée dans la conception de la théorie du conflit instrumental de Marquet (2003 ; 2011). En effet, cet auteur a bien diagnostiqué une nouveauté dans les situations traditionnelles d'apprentissage et, même pour des yeux moins experts, il est évident que quelque chose de révolutionnaire s'est déroulé avec l'intégration des « nouvelles » techniques d'apprentissage *e-learning*. Il faut bien remarquer que les technologies numériques sont d'abord nées pour des finalités de calcul et ont très rapidement dérivé vers des finalités de communication avec le développement d'Internet. Nous pouvons, pour cette raison, parler d'artefacts médiatiques, à savoir une catégorie spécifique d'artefacts techniques. L'*e-learning* est donc un type d'apprentissage qui utilise des artefacts techniques, de la même manière que les autres modalités d'apprentissage (dites traditionnelles), mais utilise plus précisément un sous-ensemble d'artefacts techniques : les artefacts médiatiques.

L'erreur que nous avons décelé dans le modèle de Marquet consiste en une approximation dans la définition de ce que sont les artefacts technique et médiatique. En effet, ce n'est pas l'artefact technique qui s'ajoute à la situation d'apprentissage *via* les technologies numériques, mais un nouveau sous-ensemble d'artefacts technique : la dimension médiatique de l'artefact.

4.2.2. Le cycle d'acquisition des artefacts

Dans ce paragraphe, nous souhaitons présenter l'évolution de la théorie du conflit instrumental que nous proposons, suite à l'analyse des nombreux exemples de situations d'apprentissage (traditionnelles ou médiés par les technologies informatiques).

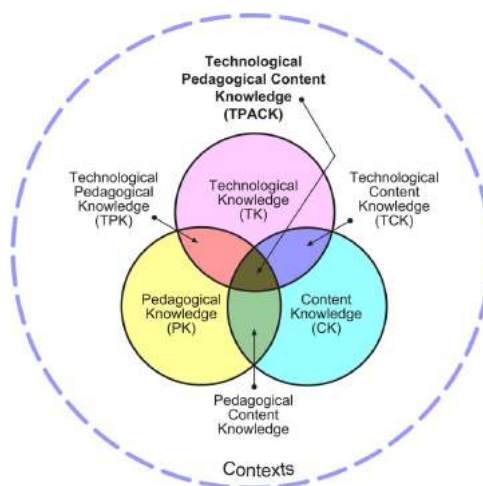


Figure 6 : Le modèle TPACK

Tout type d'apprentissage requiert une adaptation de trois artefacts : didactique, pédagogique et technique. Afin d'aboutir à un apprentissage efficace, le sujet doit être en mesure d'exécuter une triple instrumentalisation de chaque type d'artefact afin de les transformer en instrument grâce au processus de genèse instrumentale (décrit par Rabardel).

La théorie TPACK utilise la même représentation graphique des artefacts faisant partie d'une situation d'apprentissage (cf. figure 6). Néanmoins, les interactions entre les artefacts sont explicitées de façon différente. Ce modèle prend en effet en considération le processus d'apprentissage du point de vue du concepteur, l'ingénieur pédagogique. Les auteurs définissent le contenu de la connaissance (*Content Knowledge CK*) comme la connaissance de l'enseignant vis-à-vis de la matière qui doit être apprise ou enseignée. Cette connaissance inclut tous les concepts, les théories, les idées, les cadres organisationnels *etc.* Il s'agit donc de tout le savoir de l'enseignant autour de la matière qui a un impact sur la discipline enseignée. La connaissance pédagogique (*Pedagogical Knowledge PK*) consiste en la connaissance profonde des pratiques et des stratégies d'enseignement et d'apprentissage. En effet, un enseignant ayant une profonde compréhension des processus d'acquisition des compétences et des connaissances peut concevoir des situations qui favorisent l'apprentissage. L'intersection de ces deux sphères donne comme résultat une aire appelée connaissance pédagogique du contenu (*Pedagogical Content Knowledge PCK*). Cette conceptualisation consiste en la transformation de l'objet de façon à ce que celui-ci soit « enseignable ». L'enseignant doit adapter le contenu de l'enseignement pour favoriser l'apprentissage des apprenants. La connaissance technologique consiste en l'ensemble des artefacts qui sont utilisés pour réaliser l'enseignement/apprentissage et des outils fournis pour l'acquisition des connaissances. Une fois encore, nous avons une aire d'intersection entre la connaissance technique et pédagogique qu'on appelle connaissance technique de la pédagogie (*Technological Content Knowledge*). Elle permet une adaptation et le choix des technologies et

techniques les plus appropriées en vue de l'acquisition de l'apprentissage.

Ce modèle théorique confirme notre hypothèse selon laquelle toute situation d'apprentissage, non seulement celles réalisées au moyens des technologies informatiques mais également les plus traditionnelles, demande la mobilisation et l'intégration de trois types d'artefacts (la TPACK fait référence à des « connaissances ») pour atteindre un apprentissage efficace. Pour nous, cette aire d'intersection est celle qui permet l'adaptation optimale des artefacts qui visent à l'acquisition de l'apprentissage. Même si nous manifestons une certaine affinité avec ce modèle et que nous utilisons la même représentation graphique, nous allons soulever quelques différences qui semblent répondre davantage aux problématiques rencontrées lors de la réflexion réalisée autour du processus d'apprentissage.

Ci-après, nous allons comparer entre elles les différentes informations disponibles dans le but de réaliser une comparaison active et critique de la théorie du conflit instrumental.

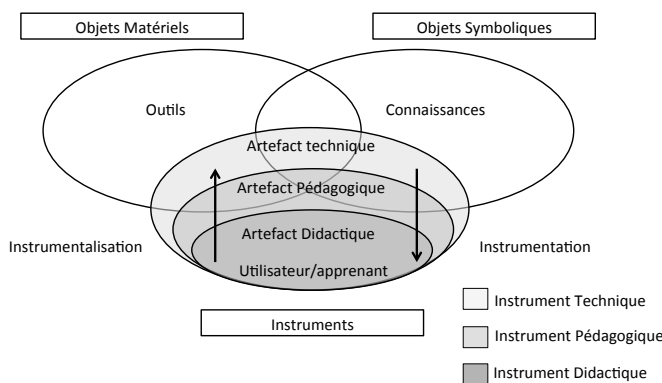


Figure 4 (bis) : La genèse instrumentale appliquée aux enseignements utilisant les technologies informatiques

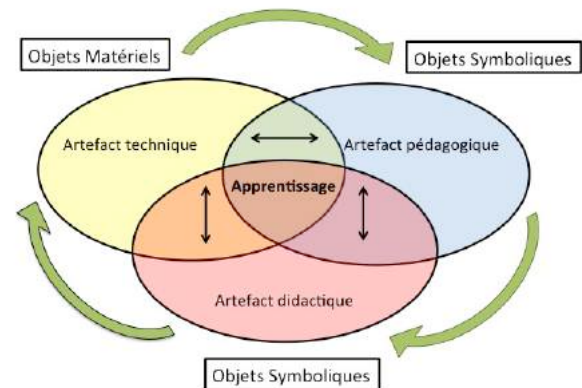


Figure 7 : Le modèle de l'adaptation instrumentale

Quels apprentissages sont-ils considérés dans le modèle ?

Le modèle de Marquet utilise la dichotomie de Rabardel (objets matériels/objets symboliques) pour souligner le fait que les artefacts matériels et symboliques ont la même importance et ne sont pas hiérarchiquement classés (ce schéma l'explique bien tant conceptuellement que graphiquement). Selon Marquet, cela ferait sa force et représenterait l'innovation de la théorie de Rabardel. Pour expliquer la situation d'apprentissage au moyen des technologies numériques, Marquet situe, dans le schéma de Rabardel, une tridimensionnalité décrivant le processus d'instrumentalisation/instrumentation des artefacts nécessaires à cet apprentissage : les artefacts techniques, pédagogiques et didactiques. Ceci pour montrer comment le processus ayant comme objectif de les rendre « instruments » en *e-learning* serait le même que celui des artefacts matériels ou conceptuels.

S'appuyant sur la théorie de Marquet, notre modèle utilise en partie, la dichotomie de Rabardel. Si le modèle du conflit instrumental se spécialise dans le processus d'apprentissage avec les technologies numériques, l'évolution que nous faisons suivre à ce modèle se focalise sur le processus d'apprentissage, sans faire de différence entre apprentissage traditionnel et *e-learning* (la raison de ce choix a été amplement justifiée plus haut). Dans notre modèle, nous présentons tout de suite les artefacts disponibles dans la situation d'apprentissage : un artefact technique (l'ensemble des objets matériels qui aident l'acquisition de l'apprentissage) et deux artefacts symboliques (l'objet didactique, représentant le contenu d'enseignement à atteindre et l'objet pédagogique, c'est-à-dire le discours ou le formalisme de représentation qui permet à l'apprenant d'accéder au contenu).

Proximité de l'artefact au sujet, hiérarchisation et chronologie d'acquisition des artefacts

Avec sa vision concentrique des artefacts, Marquet crée inévitablement une hiérarchie des trois éléments : proche du sujet, l'artefact technique puis l'artefact pédagogique et enfin l'artefact didactique. Bien que nous soyons en accord avec Marquet sur la proximité que ces artefacts ont par rapport au sujet, nous ne partageons pas l'idée selon laquelle l'artefact didactique contient l'artefact pédagogique qui à son tour contient l'artefact technique. En effet, Marquet choisit cette représentation graphique pour expliquer la proximité que ces artefacts ont par rapport à l'apprenant. Si l'on y réfléchit, tout apprentissage (dans le cas de Marquet, avec les technologies numériques) commence avec la manipulation et l'acquisition de l'objet technique (le logiciel, l'ordinateur, le *gameplay*), qui permet à son tour de comprendre l'objet pédagogique (le scénario du logiciel, la structure des menus Microsoft Office), qui permet enfin d'atteindre le contenu didactique (créer un tableau, apprendre un procédé) pour l'acquisition d'un apprentissage.

Dans notre perspective, les artefacts techniques, pédagogiques et didactiques occupent la même importance hiérarchique dans le processus d'apprentissage et sont complètement indépendants entre eux. Cependant, pour aboutir à un apprentissage efficace, ils nécessitent d'être adaptés de façon optimale. Nous faisons l'hypothèse, de façon plus explicite par rapport à celle de Marquet que, dans ce processus se trouve une chronologie d'acquisition des trois artefacts, en commençant par l'artefact technique, puis pédagogique et enfin didactique. Cette hiérarchisation (expliquée dans le schéma par la succession des grosses flèches qui partent de l'artefact technique et accomplissent un cycle en direction horaire) n'est évidemment pas donnée une fois pour toute, mais trouve un équilibre interne qui s'explique par la transition d'un artefact à l'autre et qui en facilite l'adaptation mutuelle. Par exemple, pour apprendre à faire des sommes dans le programme de calcul Excel (objet didactique, parmi d'autres comme faire des divisions, des multiplications, etc.), le discours pédagogique devra se concentrer sur l'explication de ces fonctions qui permettent de remplir le tableau de façon à pouvoir exécuter cette opération précise. A leur tour, les fonctions techniques doivent être acquises en amont pour permettre un accès à ce discours.

Délimitation des artefacts VS adaptation des artefacts dans la zone d'adaptation optimale

Dans le modèle décrit par Marquet nous pouvons remarquer que les confins des trois artefacts sont très précis. Il s'agit éventuellement, d'avoir un artefact « totalitaire », l'artefact didactique, qui absorbe l'artefact pédagogique qui inclut à son tour l'artefact technique. Dans la perspective d'un apprentissage très pointu, nous pouvons interpréter ce point de vue en argumentant que l'artefact didactique trace effectivement les confins et pose les limites de l'artefact pédagogique qui peut être utilisé pour accéder à un contenu didactique. Pour donner un exemple (même s'il est tiré d'un apprentissage traditionnel et non pas médié par les technologies informatiques) une personne qui voudrait apprendre à faire une sculpture en bois devra connaître les différents types de bois et les techniques pour le modeler, mais il ne sera pas obligé de connaître comment se fait le processus de photosynthèse chlorophyllienne. Pour aller plus loin dans cet exemple, les techniques que la personne apprendra pour sculpter le bois seront sélectionnées en fonction de la finalité de la découpe du matériau bois, et non pas de celle de l'acier ou du plâtre.

Bien que nous comprenions le processus incluant/excluant des trois artefacts « emboîtés » de Marquet, nous n'agréons pas dans la hiérarchisation de ces artefacts. Nous pensons en revanche que, pour avoir un apprentissage efficace et donc à une genèse instrumentale de tous les artefacts, ces derniers doivent s'adapter les uns aux autres et cette adaptation devient de plus en plus efficace et harmonieuse dans la zone d'intersection que nous pouvons remarquer dans le schéma proposé plus haut (trois zones gris clair). En effet, cette zone décrit l'existence de plusieurs allers-retours entre les artefacts avant que la personne ne soit complètement à l'aise dans l'acquisition d'un enseignement. Par exemple, pour qu'un individu apprenne à faire des sculptures en bois, les artefacts pédagogiques nécessaires seront ceux qui expliqueront le mieux l'artefact didactique, donc graphiquement, qui se trouvent le plus proche possible de l'intersection entre les deux ellipses. Concernant la technique nécessaire pour apprendre cet art, on trouvera que les outils nécessaires à l'apprentissage seront ceux qui s'adaptent le mieux à la finalité de celui-ci (tailler du bois et non pas du plâtre).

Néanmoins, nous ne savons pas quelle signification donner à la zone centrale du schéma. Il est possible qu'une autre représentation puisse être plus efficace pour expliquer le même processus.

Le genèse instrumentale une fois pour toutes VS le processus d'adaptation optimale des artefacts

L'acquisition d'un artefact se fait à travers un processus d'instrumentalisation/instrumentation appelé « genèse instrumentale ». Ce processus se fait une fois pour toute, c'est-à-dire lorsque l'apprenant a compris comment se servir des techniques ou du discours pédagogique nécessaires à l'acquisition du contenu d'apprentissage, cette acquisition demeurera de façon permanente. De plus, l'acquisition de l'artefact suivant sera seulement possible après acquisition complète du précédent. Pour donner un exemple tiré de l'informatique, dans un jeu vidéo d'apprentissage, l'apprenant saura se servir du scénario et donc le comprendre, seulement

Contrairement à ce qu'on peut inférer de la théorie de Marquet, nous pensons que le processus de genèse instrumentale ne se fait pas une fois pour toute. Au contraire, avant d'avoir la maîtrise complète de l'artefact, l'apprenant accède à l'artefact suivant en faisant des allers-retours entre ces artefacts jusqu'à atteindre une adaptation des deux. Dans le schéma que nous proposons, on peut remarquer les petites flèches dans la zone gris clair. A titre d'exemple tiré de l'informatique, une personne qui est en train d'apprendre à manipuler un environnement 3D en utilisant le *gameplay* (artefact technique) aura

une fois qu'il aura acquis les techniques d'interaction dans l'environnement 3D (<i>gameplay</i> et interface homme-machine). De la même manière, il pourra s'approprier du contenu d'apprentissage uniquement lorsque tout le scénario sera compris et intégré.	accès au scénario d'apprentissage bien avant d'avoir développé une maîtrise parfaite des commandes. Cela exigera probablement une utilisation prolongée dans le temps, des tentatives et des erreurs.
Artefact technique ou artefact médiatique ?	
L'artefact technique est un nouvel artefact qui vient se rajouter à la situation traditionnelle d'apprentissage. Cet artefact, dans les situations d' <i>e-learning</i> , n'est souvent pas adapté aux contenus d'enseignement et aux formalismes de représentation utilisés pour atteindre ces objectifs d'apprentissage.	L'artefact technique a toujours fait partie des artefacts qui sont inclus dans les situations d'apprentissage, qu'elles soient traditionnelles ou innovantes. Les apprentissages <i>via</i> les technologies informatiques, en revanche, font appel à des fonctions médiatiques des artefacts techniques qui n'étaient pas si pertinents dans les situations d'apprentissages traditionnels.

Tableau 12 : Comparaison entre le modèle du conflit instrumental de Marquet et celui de l'adaptation instrumentale issu de ce travail de recherche

4.2.3. Le modèle de l'adaptation instrumentale

Arrivés à ce point de l'analyse et du déploiement de la théorie du conflit instrumental (celle de Marquet et notre évolution vers une théorie de l'adaptation instrumentale), nous pouvons formuler de nouvelles hypothèses concernant l'adaptation des apprentissages. Si, d'un côté, nous avons des apprentissages dits « traditionnels » qui ne peuvent, en aucun cas, trouver une adaptation efficace entre les artefacts et qui, pour cette raison, sont source de conflits instrumentaux dans les situations d'*e-learning*, nous soutenons au même titre l'existence d'un certain type d'apprentissage qui ne peut pas se réaliser sans l'aide de ces mêmes technologies informatiques. Cette situation a eu pour conséquence la constitution de l'outil de simulation LabQuest et des autres nombreux simulateurs et SG présents sur le marché (simulateur des pilotes d'avion, de train, etc.). En effet, il s'agit d'analyser les conditions dans lesquelles ces formations « classiques » sont réalisées. Il n'est pas rare que, dans la vie réelle, ces formations entraînent plusieurs risques pour la personne apprenante et pour l'environnement. Dans le cas où, pour un pilote d'avion ou pour une personne manipulant le virus Ebola, la pratique de conduite ou de recherche de laboratoire serait la plus efficace pour l'apprentissage, elle s'avérerait être impossible en raison des risques que cette modalité d'apprentissage (par l'action) pourrait comporter. C'est pour cette raison que des dispositifs de simulation (donc d'apprentissage par l'action simulée) dans ces secteurs ont déjà été produits. Au contraire, dans le cas des entreprises pharmaceutiques, ou dans le cas de contrôle des procédures, les personnes reçoivent des apprentissages visant des connaissances procédurales et, dans ces circonstances, se retrouvent face à un artefact pédagogique sous la forme du discours parlé ou

écrit, donc en dehors de la pratique pour les raisons déjà énoncées. En analysant les méthodes d'évaluation des connaissances procédurales des personnels travaillant dans les Zones à Atmosphère Contrôlée, nous nous sommes aperçus, à plusieurs reprises, que les tests utilisés pour cette évaluation proposaient des questions à choix multiples, insuffisamment sensibles pour le diagnostic des connaissances procédurales et donc des compétences.

Dans ce cas aussi, nous retrouvons un phénomène de conflit instrumental « inversé » (cette fois-ci en opposition au modèle du conflit instrumental proposé par Marquet) qui peut être expliqué avec le modèle que nous avons théorisé. Cette théorie de l'adaptation instrumentale expliquerait l'inefficacité des formations qui s'efforcent, par manque d'outils pédagogiques, didactiques ou techniques (ou simplement d'adaptation entre les trois), d'utiliser des méthodes traditionnelles pour enseigner/apprendre un contenu qui se prêterait cette fois-ci bien mieux à un dispositif informatique.

L'objet de cette thèse est de comprendre et de vérifier, une fois que le dispositif de simulation sera finalisé, la pertinence de cette hypothèse et éventuellement de la vérifier ou de l'infirmer.

5. Des enjeux industriels à la formulation de la problématique et des hypothèses

Comme nous l'avons déjà longuement expliqué dans la partie introductive, cette thèse a vocation à traiter les deux volets complémentaires qui caractérisent une convention CIFRE. Pour cette raison, nous voulons clore cette partie que nous avons consacrée aux données de la littérature en précisant quels sont les enjeux industriels et scientifiques qui ont un poids important dans les choix méthodologiques qui sont faits pour vérifier la pertinence et l'efficacité de l'outil conçu.

Dans ce but, nous soulignerons l'importance de développer un outil d'apprentissage sous la forme d'un SG conçu à l'aide d'une méthodologie scientifique s'appuyant notamment sur la théorie du conflit instrumental, ou encore, l'opérationnalisation de l'analyse de l'activité issue de la didactique professionnelle qui est dédiée au même objectif.

La science au service de
l'industrie

Une étude de l'efficacité de cet outil permettra ensuite de valider le modèle de conception du SG. Tester son efficacité a également un enjeu industriel en permettant à la société WhiteQuest de tirer profit de l'intérêt qui se révèle à faveur de l'outil SG.

Validité scientifique +
enjeux industriels
(vente/marketing)

Le développement de cet outil et le libre accès qui nous a été accordé suite à son développement, nous permettront de concevoir une méthodologie d'observation et de collecte des données afin d'interroger le processus d'acquisition des apprentissages *via* les technologies informatiques.

L'industrie au service de la
science

5.1. Le défi industriel, le postulat scientifique

Cette thèse de doctorat se propose donc de répondre à une problématique qui est présentée sous deux aspects différents et qui oscille dans l'interface entre les milieux industriel et académique. Si pour les sciences de la vie et de la matière la recherche « appliquée » n'est pas une nouveauté, car cette application est vue positivement pour les deux partenaires, cette articulation d'intérêts est moins fréquente dans les sciences humaines et sociales. Sur un plan, cette thèse fait face aux défis industriels de WhiteQuest qui souhaite concevoir un dispositif de formation innovant pour le personnel des salles blanches, sous la forme d'un SG, capable de combler l'inefficacité et la redondance des formations actuellement dispensées dans ce milieu

professionnel très règlementé. Sur un autre plan, nous voulons harmoniser le travail de recherche au LISEC dont l'un des intérêts principaux s'articule autour de la problématique du lien entre l'apprentissage et les technologies numériques. Nous avons, en effet, l'ambition de proposer une « vérification » du modèle du conflit instrumental (Marquet, 2012). A ce titre, nous présentons une « méthode de résolution » des conflits instrumentaux dans le cadre de la formation et de l'évaluation du personnel dans les salles blanches. Plus précisément, nous soutenons l'idée que l'absence d'efficacité des formations (et donc des évaluations) qui sont traditionnellement dispensées dans ce milieu professionnel pour cette cible, font elles-mêmes l'objet d'un conflit instrumental « inversé » en raison de l'inadaptation des supports d'apprentissage (dans ce cas-là, les formations CD-roms) et des évaluations (QCM) aux contenus pédagogiques qu'on se donne pour objectif de transmettre.

C'est pour cette raison qu'un outil d'apprentissage et d'évaluation capable d'éviter les conflits instrumentaux trouve toute sa raison d'être : il est question de choisir, avec précaution, les contenus pédagogiques qui seront proposés aux apprenants, dans la plupart des cas, sous la forme de connaissances procédurales.

Il est évident qu'afin de développer des connaissances procédurales, rien n'est plus efficace que l'apprentissage par l'action dans la pratique quotidienne des gestes et leur simulation (Cook, *et al.*, 2011). Il s'avère cependant que, dans le cas du travail en zone aseptique, un apprenti n'est pas autorisé à accéder au terrain, en raison des risques que cela pourrait entraîner pour sa santé, pour l'environnement et pour l'économie de l'entreprise (pour ne pas évoquer des répercussions pour le reste de la population mondiale en cas d'accident grave comme lors d'une épidémie). On peut donc entrevoir tout l'intérêt de concevoir un outil de simulation 3D, d'évaluation et de formation aux bonnes pratiques et aux gestes professionnels adéquats.

A cette étape de notre étude la problématique ne peut être que le résultat d'un questionnement sur la légitimité de la production de notre d'outil de formation et d'évaluation. La question fondamentale que nous nous posons est donc celle de l'efficacité de ce dispositif qui est conçu à la lumière du modèle de l'adaptation instrumentale.

1a) La conception et le développement d'un outil de formation, sous la forme d'un SG, répondent-ils mieux (s'ils sont comparés aux formations traditionnelles) aux exigences de formation et d'évaluation du personnel des entreprises pharmaceutique ?

1b) L'utilisation du SG LabQuest (conçu en opérationnalisant la théorie du conflit instrumental et de la didactique professionnelle), permet-il de développer des compétences (pendant la formation) qui sont ensuite transposables dans la vie réelle ?

Un deuxième point s'intéresse au phénomène de l'apprentissage avec les technologies informatiques, plus précisément, par le biais d'un SG. Le développement de LabQuest nous donne la possibilité de vérifier ce processus d'acquisition des artefacts.

2a) La méthodologie de constitution du logiciel de simulation qui a été mise en œuvre répond-elle aux critères d'adaptation des artefacts didactiques, pédagogiques et techniques, en conformité avec la théorie du conflit instrumental ?

2b) Quel est le processus d'acquisition des artefacts utilisé lors d'un apprentissage ? S'agit-il du même processus que lors d'un apprentissage par des méthodes classiques ?

5.2. Hypothèses

Les hypothèses que nous pouvons formuler, en lien avec les questions de la problématique énoncées dans le paragraphe précédent, investissent l'étude de l'adaptation des artefacts intégrés dans le dispositif.

En ce qui concerne la légitimité et l'efficacité du SG en lien avec les méthodes de formation actuellement disponibles, ainsi que sa valeur ajoutée dans le développement des compétences, deux hypothèses interconnectées peuvent être avancées :

1a) La conception d'un outil d'évaluation et de formation sous forme de SG, dirigée par les choix et la déclinaison optimale des trois types d'artefacts (didactique, pédagogique, technique), ne présente pas de conflit instrumental, mais ajoute en revanche une valeur pédagogique à l'outil qui n'est pas atteignable par les méthodes traditionnelles d'évaluation.

1b) Dans le cadre de l'acquisition des compétences, nous affirmons que l'apprentissage des procédures fait par le biais d'un SG offre une valeur pédagogique qui n'est pas atteignable par les méthodes traditionnelles de formation. En d'autres termes, dans leur vie réelle, les personnes formées avec LabQuest réalisent de meilleures performances, dans la vie réelle, que les personnes qui ont été formées avec des méthodes traditionnelles (vidéo, QCM, PPT).

Dans cette première hypothèse, le lecteur pourra remarquer la présence de deux concepts bien définis comme compétences et performance. En effet, même si nous affirmons que grâce à la formation avec le SG l'apprenant aura plus de chances de mieux développer ses compétences professionnelles qu'avec une formation traditionnelle, nous sommes conscients de l'impossibilité de « mesurer les compétences ». C'est pourquoi, notre protocole expérimental se concentrera sur l'observation et l'évaluation des performances réalisées par les sujets participants aux tests. Nous faisons de ce fait l'hypothèse qu'une éventuelle évolution des

performances suite à l'administration d'une formation requiert et sous-tend un développement des compétences bien que ces dernières soient non-quantifiables.

En ce qui concerne l'étude du processus d'acquisition des connaissances, nous nous interrogeons sur la manière dont sont articulés les artefacts qui sont intégrés dans un parcours d'apprentissage. Pour cette raison nous proposons les hypothèses suivantes :

2a) Tout apprentissage, médié ou non par les technologies informatiques, nécessite, pour être efficace, une adaptation optimale des trois artefacts (technique, pédagogique et didactique) qui constituent le système d'apprentissage.

2b) L'acquisition des artefacts dans un système d'apprentissage-type, se fait de façon hiérarchisée et spiralaire, comme nous l'avons présenté dans le modèle de l'adaptation instrumentale. Le sujet doit, dans un premier temps, se rendre assez autonome dans la maîtrise de l'artefact technique (dans le cas spécifique du SG, des commandes et des interactions avec les objets et l'environnement), pour accéder ensuite à l'artefact pédagogique, c'est-à-dire le formalisme de représentation d'une norme ou d'une règle, et enfin, à l'artefact didactique (le but de l'apprentissage).

2c) L'acquisition des artefacts au sein d'un processus d'apprentissage ne se fait pas une fois par toute mais suit, au contraire, un processus d'adaptation progressive. Afin de réussir son apprentissage, le sujet doit pouvoir maîtriser les trois artefacts présents à l'intérieur du système. Un déséquilibre entre les trois artefacts peut avoir comme conséquence un conflit instrumental et donc un échec de l'apprentissage en lui-même.

De plus, nous nous intéresserons au processus d'acquisition des artefacts de façon à l'intégrer dans le paradigme de la genèse instrumentale de Rabardel (1995).

Aussi, dans le cadre de cette thèse, allons-nous construire des méthodologies d'observation et de collecte des données (*cf.* chapitre 7) afin de confirmer ou d'infirmer les hypothèses que nous venons d'énoncer.

Afin de mieux comprendre les fondements théoriques appliquées à ce propos, nous allons présenter dans le prochain chapitre la démarche d'ingénierie pédagogique qui a été mise en œuvre pour la conception de LabQuest. Nous examinerons les modèles actuellement disponibles dans la littérature et nous légitimerons l'importance de la conception d'un nouveau modèle qui souligne l'exigence d'avoir une nouvelle figure professionnelle (le *Pedagogical Game Designer*) capable de garantir la qualité de conception et, par conséquence, l'efficacité de l'apprentissage.

PARTIE PRAGMATIQUE : conception et finalisation de LabQuest

6. La conception de LabQuest

Une thèse CIFRE est un exercice de recherche qui possède deux grands enjeux : d'une part répondre à l'exigence d'un commanditaire, de l'autre, d'apporter de nouveaux éléments qui permettent de répondre à une problématique pertinente pour la communauté scientifique.

Dans ce chapitre, nous passerons en revue quelques méthodes de conception de SG existant aujourd'hui. Nous présenterons ensuite la méthode que nous avons utilisée pour la conception de LabQuest. Dans ce but, des activités de recherche et de conception ont été réalisées parallèlement en raison des exigences économiques et de production de la société WhiteQuest. Des éléments de nouveauté (tel que le modèle PEGADE et, plus encore la proposition de la nouvelle figure professionnelle PGD – *Pedagogical Game Designer* -) caractériseront cette démarche d'ingénierie et permettront de légitimer son caractère novateur.

Aujourd'hui, la littérature scientifique n'est pas en mesure de proposer un modèle universel de conception des SG, en raison notamment du caractère trop récent du sujet traité. En effet, les termes de « *serious game* » et « jeu sérieux » apparaissent dans la littérature scientifique qu'à partir de la fin des années 1980 et font visiblement référence à des réalités hétérogènes regroupant les concepts d'« apprentissage multimédia » et d'« *e-learning* ». Néanmoins, nous verrons que l'on peut trouver, dans une littérature plus récente, des méthodologies complexes et détaillées de conception de SG qui montrent des similitudes avec les approches de conception des jeux vidéo (*video games*).

6.1. Les modèles de conception des *serious games*

Parmi les modèles que nous allons présenter ci-dessous, nous nous attarderons particulièrement sur le modèle de Marfisi-Schottman (2010) qui, dans sa conception, prend davantage en considération que d'autres auteurs le volet multidisciplinaire. Son analyse critique sera pour nous l'occasion de mettre en évidence les caractères novateurs de la conception du modèle que nous proposons comme aboutissement de notre démarche ingénierique.

6.1.1. État de l'art des modèles de conception des *serious games*

Lorsqu'il s'agit d'explorer les méthodologies de conception et de développement des SG, les propositions sont multiples. De façon surprenante, la tendance générale dans les modèles de conception est soit celle de négliger le rôle de la pédagogie dans leur processus de *design*, soit de ne pas savoir équilibrer les deux dimensions de jeu et de divertissement. L'une des explications possibles est la manière dont les équipes qui conçoivent et réalisent des SGs sont formées (il ne s'agit souvent pas d'éducateurs) et de la façon dont elles sont engagées dans le processus. Iuppa et Borst (2009) décrivent le phénomène des années 2000, qui a vu surgir à l'origine aux États-Unis, une constellation de jeunes entreprises dédiées à la production de jeux vidéo pour le divertissement (*entertainment video games*). Au regard des coûts d'investissement nécessaires à la production des jeux vidéo, les petites entreprises ont dû, pour survivre, s'adapter aux propositions alternatives du marché, et notamment aux exigences de clients qui voulaient produire des jeux dédiés à l'apprentissage. En somme, des développeurs, directeurs artistiques, graphistes, *etc.*, se sont reconvertis pour répondre à une exigence qui n'était pas encore satisfaite sur le marché. Ainsi, de purs techniciens et/ou des détenteurs de profils professionnels plutôt artistiques, se sont essayés à la conception pédagogique sans avoir une idée précise de la manière dont il convenait de s'y prendre. De la même façon, la littérature scientifique proposait des modèles théoriques qui tentaient de décrire les éléments à prendre en considération lors de leur conception. Ainsi, dans le modèle proposé par Annetta (2010), six aspects doivent être considérés pour concevoir et développer des SGs : l'identité, l'immersion, l'interactivité, la complexité croissante, les enseignements et l'ingénierie pédagogique. Bien que cette approche mette en évidence les éléments indispensables à l'accompagnement de l'apprenant dans son parcours d'apprentissage au sein d'un SG, elle ne fournit pas les outils nécessaires à sa conception opérationnelle. Un aspect très important que cet auteur met en évidence dans ce modèle est celui de l'intégration de l'expérience de l'utilisateur au centre du processus de développement. Mais aucune indication sur la manière d'intégrer les différentes figures professionnelles n'est fournie. Ce n'est qu'en 2005 que Kirkley *et al.* proposeront le modèle *SG-ISD* (*Simulation-Games Instructional Systems Design Model*), qui se focalisera explicitement sur le processus de conception du point de vue de l'implication des figures professionnelles responsables de la réalisation du processus. Dans cette perspective, deux personnes sont à l'origine de la conception d'un SG : l'ingénieur pédagogique (*instructional designer*) et le concepteur du jeu (*game designer*). Le premier pose les bases théoriques qui guident les objectifs d'apprentissage et interroge les besoins de l'utilisateur/apprenant. De plus, son rôle est de rendre explicites les objectifs d'apprentissage afin qu'ils puissent être pris en considération en vue d'une scénarisation. Il s'agit de la première phase de la conception à la suite de quoi le

concepteur du jeu peut concevoir les aspects ludiques qui transforment l'apprentissage en jeu. Ce modèle propose un développement linéaire du SG, qui prévoit aussi des cycles de validation et de contrôle de la qualité. Plus opérationnel que les autres, ce modèle de conception peut toutefois créer des situations de conflit entre la figure professionnelle qui a en charge les aspects pédagogiques et celle qui est responsable des éléments ludiques.

D'autres modèles plus connus ne se focalisent que sur un seul aspect de la conception du jeu (*Game Design*). Formulé par le département des sciences informatiques de l'université Carlos III de Madrid, le GREM (*Game Rules, Game Scenario*) décrit les éléments qui doivent être pris en considération lors de la conception d'un SG. Selon ce modèle, il y aurait, au cœur de la conception, des mécanismes de jeu dont le but est de viser à l'achèvement d'un objectif d'apprentissage. Autour de cette dyade seraient disposés des éléments « accessoires » qui créeraient le jeu comme les *feedbacks*, des stratégies de socialisation, le scénario et le débriefing. Les stratégies recommandées seraient, entre autres, l'utilisation de récompenses et la création d'une certaine addiction au jeu. Dans ce modèle techno-centrique, il est impossible de se faire une idée précise de la manière dont l'analyse des besoins et l'identification des contenus d'apprentissage ont été réalisés. Rooney (2012) insiste sur l'importance de réaliser une adaptation optimale entre le versant *game* et celui de *serious*, s'appuyant sur des stratégies d'apprentissage en situation, basées sur la résolution de problèmes ou relevant d'un apprentissage expérientiel. Toutefois, ce modèle il ne nous dit rien non plus par rapport aux acteurs et sur la façon dont le scénario et les mécanismes des jeux ont été construits.

D'autres modèles, comme le STAR (*STorytelling for educAtional inteRventions*) décrivent la conception des SG comme une histoire dans le quel ils s'intercalent des mécanismes de jeux. (Molnar, et al. 2012). Le *storytelling* en question est donc composé de : 1° une *Introduction*, visant la présentation de la situation, du personnage principal et de ses missions ; 2° les *Puzzles*, c'est-à-dire la proposition de jeux et situations problèmes qui doivent trouver une résolution afin d'atteindre les objectifs d'apprentissage ; 3° la *Resolution*, qui consiste en la résolution du mystère ; et 4° le *Debriefing* lors du quel le joueur explique quels choix et quels raisonnements a mis en place pour résoudre les problèmes posés. Ce modèle, très intéressant d'un point de vue de la chronologie n'explicite pas la stratégie managériale de l'équipe pourrait être entreprise ni quelles tâches doivent être réalisés par l'un et l'autre acteur ni quelle démarche d'ingénierie pédagogique doit être utilisée pour scénariser les objectifs d'apprentissage.

C'est dans le travail de Marfisi-Schottman *et al.* (Marfisi-Schottman *et al.* 2010 ; Marfisi-Schottman & George 2010 ; Marfisi-Schottman, 2012) que nous trouvons le premier modèle décrivant de manière plus approfondie le processus de conception et de développement des SGs (LEGADEE, LEarning GAME DEsing Environment). Il s'agit d'un modèle de conception itératif et

collaboratif ayant servi de base pour la réalisation d'un outil d'aide à la collaboration dans la conception des SG (ou de Learning Games, pour reprendre le concept des auteurs). Par rapport aux autres modèles dont nous avons fait référence, celui-ci possède l'avantage de fournir une description des figures professionnelles qui sont incluses dans sa conception : *« un client (le commanditaire du Serious Game) spécifie ses besoins et contraintes. Le chef de projet identifie et distribue les tâches à l'équipe de création tout en supervisant leurs bonnes exécutions. Le cognitifien travaille avec un ou plusieurs experts du domaine, souvent désignés par le client, pour formaliser les connaissances et compétences à enseigner. Ensuite, l'expert pédagogique rassemble ces connaissances et compétences de manière à en identifier les principales compétences et pour définir les objectifs pédagogiques du LG. Le game designer et l'expert pédagogique collaborent alors pour structurer le scénario du LG. Cette étape, très délicate, doit entre autres amener à définir quels ressorts de jeux utiliser pour favoriser les apprentissages visés. Lors de cette phase, l'expert pédagogique doit veiller à ce que le LG ait un fort potentiel éducatif et le game designer doit veiller à ce que le LG propose une expérience ludique et attractive. Le screen designer conçoit chaque écran et donne des précisions sur tous leurs aspects visuels, auditifs et interactionnels. Ces spécifications doivent être très précises afin d'éviter toutes incompréhensions avec les sous-traitants concernés dans la phase de développement et de production des ressources (graphiste, acteur, animateurs, sound manager...). Ensuite, les développeurs utilisent les maquettes et les documents spécifiés en amont pour développer le prototype du LG. Ce prototype est ensuite testé et validé par un échantillon d'apprenants et de tuteurs. Si ce test n'est pas concluant, les acteurs doivent revenir sur l'étape en amont et identifier la cause puis effectuer les réparations des problèmes identifiés autant de fois qu'il est nécessaire. Ce processus itératif donne naissance au LG finalisé »* (Marfisi-Schottman et al., 2010, pp.226-227)²⁵.

La deuxième valeur ajoutée de ce modèle se situe dans la description des phases de conception et des tâches respectives des acteurs : 1°) l'identification des besoins (chef de projet) ; 2°) la formalisation des contenus pédagogiques (cognitifien) ; 3°) la construction en parallèle des scénarios pédagogiques et ludiques (expert pédagogique et *game designer*) 4°) le contrôle qualité (le chef de projet avec le client); 5°) le développement (développeurs), réalisation des graphismes (graphiste, *screen designer*), la finalisation d'un prototype (développeurs) ; 6°) le test d'utilisabilité (inconnu) ; 7°) l'ajustement et *de-bugs* (développeurs).

Bien que cette description soit très intéressante pour toute équipe qui souhaite entamer la conception d'un SG, deux problèmes subsistent : le premier concerne la fragmentation des tâches confiées aux différentes personnes, qui débouche sur le second problème inhérent au rôle

²⁵ Traduction française du texte, originellement en anglais.

du concepteur pédagogique qui doit aussi assumer, en même temps, celui de chef de projet pour faciliter la communication entre les autres membres de l'équipe.

6.1.2. Analyse critique de LEGADEE. Vers la définition de PEGADE

Bien que LEGADEE semble répondre de manière pertinente aux exigences de conception du SG *design*, ce modèle présente des limites, pouvant avoir une influence sur le degré d'efficacité de l'apprentissage, et qui pourraient faire l'objet d'améliorations. Dans le but de présenter les propositions d'amélioration et les innovations du modèle PEGADE que nous avons mis au point pour la conception de LabQuest, nous nous proposons de réaliser une analyse comparative de ces deux modèles. Nous soulignerons plus particulièrement l'importance de l'action pédagogique qui doit idéalement accompagner le projet du début à la fin, pour diriger le processus d'adaptation instrumentale des artefacts mobilisés pour la réalisation du dispositif d'apprentissage. Le but ultime de cette argumentation sera de présenter la figure professionnelle novatrice : le PGD (*Pedagogical Game Designer*)

Avant de présenter le modèle PEGADE, nous avons choisi de synthétiser, dans le tableau comparatif suivant, les tâches nécessaires à la conception et au développement d'un SG du point de vue des deux modèles LEGADEE et PEGADE de SG design.

LEGADEE	PEGADE
1. Identification et analyse des contenus et objectifs pédagogiques	
<i>1.1 Identification des contenus et objectifs pédagogiques</i>	
L'expert de l'apprentissage doit extraire les connaissances spécifiques du domaine qui doivent être formalisées en contenus d'apprentissage et être enseignées aux apprenants. Pour ce but, il est nécessaire d'interroger les experts du domaine.	L'identification des besoins de formation et d'apprentissage se fait selon une approche participative construite non seulement avec les experts du domaine mais également avec les sujets qui sont les destinataires de l'apprentissage. Cette approche centrée sur l'utilisateur (<i>User-Centered Design</i>) permet une analyse plus fine des problématiques liées à l'activité de la personne pour laquelle la formation est destinée et permet la conception d'un outil plus efficace et adapté. Dans le cadre de la réalisation de LabQuest, par exemple, l'entretien avec les experts du domaine, mais aussi l'observation des professionnels au travail (qui se fait aussi, dans le cadre d'enseignements plus traditionnels, impliquant enseignants et élèves) est indispensable afin d'obtenir un diagnostic précis des compétences professionnelles et des connaissances spécifiques du métier qui doivent être enseignées. En lien avec la didactique professionnelle, l'ingénierie pédagogique de réalisation du SG accorde une grande importance aux éventuelles « incohérences » du travail perçues

	par les travailleurs (l'activité perçue), aux normes (la tâche prescrite) et les attentes des formateurs et managers, ainsi qu'au travail réellement effectué (la tâche réalisée), autant dans le développement des compétences que dans l'apprentissage plus « scolaire ». L'expert pédagogique et de l'apprentissage doit dresser un inventaire des aspects les plus sensibles et critiques de l'apprentissage. Dans cette même perspective, il est indispensable de réaliser une veille des outils déjà disponibles afin d'en comprendre les limites et/ou les points de force. La conception participative des formations pour l'acquisition de toute connaissance et/ ou développement de compétence peut être réalisée pour tout domaine d'apprentissage.
1.2 Analyse des contenus et objectifs pédagogiques	
L'expert pédagogique doit réaliser une analyse des compétences professionnelles ou des objectifs pédagogiques qui sont ensuite classés en connaissances et en comportements. Pour ce but, la proximité avec un expert du domaine des compétences est indispensable.	L'expert pédagogique doit réaliser une analyse des compétences professionnelles ou des contenus et objectifs pédagogiques qui sont ensuite classés en connaissances et en comportements. Pour chaque domaine d'apprentissage, il est particulièrement important d'explicitier : • Le savoir théorique, c'est-à-dire les connaissances théoriques sous-jacentes à l'apprentissage (la norme, la règle) ; • Le savoir faire, c'est-à-dire la compétence procédurale ; • Le savoir-être, qui se traduit par les inclinaisons caractérielles les plus adaptables pour le métier ou pour l'apprentissage ; • Les indicateurs de performance qui distinguent une action correcte ou erronée. • Les objectifs pédagogiques, c'est-à-dire les finalités de l'apprentissage.
2. Choix du modèle de SG et adaptation des contenus pédagogiques aux technologies choisies	
L'expert pédagogique définit quel modèle de Jeux Sérieux employer pour la réalisation de l'outil d'apprentissage. Les modèles de <i>serious games</i> peuvent être les suivants : - Jeu d'aventure - Jeu de réflexion - Jeu de rôle - Jeu d'action - Jeu de simulation avec des missions définies	Ce processus d'adaptation des contenus pédagogiques aux technologies choisies s'est déroulé tout au long de la conception du SG et a été vérifié par un aller-retour et un ajustement cyclique pendant toute la durée du processus de conception. Cette adaptation n'est jamais acquise une fois pour toutes, mais elle est à réaliser de façon cyclique lors de chaque étape de la constitution de l'outil de formation. Pour ce but, une synergie collaborative entre l'expert pédagogique et le directeur technique est impérative. La nature des contenus pédagogiques aide, d'une certaine manière, au choix du modèle de SG. En ce qui concerne le modèle de SG, nous affirmons

	que le choix de celui-ci ne peut pas être fait avant d'avoir fixé les orientations générales que va prendre le scénario.
3. Conception du scénario	
Le <i>story-board writer</i> et le directeur artistique définissent le scénario pédagogique sur la base des indications qu'ils ont reçues lors des étapes précédentes.	L'écriture des scénarios est un processus qui se déroule en deux temps. Tout d'abord, l'expert pédagogique ou le <i>game designer</i> réfléchit à des « scénettes » ayant comme objectif la scénarisation de tel ou tel contenu pédagogique. Les scénettes sont ensuite mises en relation entre-elles de façon à réaliser un scénario global. La réalisation d'un scénario peut être plus ou moins laborieuse selon le type de jeu sérieux que l'on entend réaliser. Un jeu sérieux de type « simulation » aura un scénario qui est plus proche de la vie réelle par rapport à un jeu reposant davantage sur la fantaisie. Néanmoins, le choix du modèle de jeu ne garantit pas la difficulté de la conception du scénario. Dans le cadre de LabQuest, qui est un <i>serious game</i> de simulation, nous avons fait le choix d'intégrer des éléments qui permettent d'aborder des thèmes sensibles concernant la production en zone aseptique. Ce travail est réalisé par l'expert pédagogique en accord avec le chef de projet qui en supervise le travail. C'est à ce point de la conception qu'a lieu le choix des mécanismes des jeux à intégrer afin de réaliser l'apprentissage. De plus, tous les autres éléments du scénario doivent être mis au point dans cette phase de la conception. Nous les verrons par la suite.
Les objets 3D constituant l'environnement (et les environnements) doivent être modélisés en vue de la constitution de l'outil.	Une description exhaustive et une documentation détaillée (incluant les photos des objets et les plans des environnements) ont été nécessaires afin de reproduire virtuellement l'environnement et les objets qui constituent les décors dans les scènes. Les éléments de décors sont choisis en fonction de l'apprentissage que l'on veut acquérir. Ces éléments seront modélisés par les graphistes 3D.
Les personnages doivent être dessinés et doivent pouvoir intégrer les fonctionnalités choisies à des fins pédagogiques indiquées.	Des photos très détaillées et une documentation écrite ont été fournies pour la réalisation 3D des personnages. Des fonctionnalités bien précises ont dû être intégrées : les personnages doivent être décrits, entre autres, vis-à-vis de leur possibilité d'interaction dans le SG et avec les autres personnages.
Les caractéristiques de l'environnement sont dessinées par le directeur artistique. Elles	Les caractéristiques de l'environnement sont récréées en fonction des objectifs et du scénario du

dépendent du type de scénario que l'on souhaite réaliser.	SG. Elles peuvent être plus ou moins réalistes selon le type de SG que l'on est en train de déployer. Le choix sera fait à la suite des objectifs pédagogiques et des stratégies de simulation qui seront mises en évidence par le travail de l'expert pédagogique
	Le choix général des éléments de décor, des objets, des personnages et des environnements sera fait à la suite de l'analyse des objectifs pédagogiques et des stratégies de simulation qui seront réalisés au préalable par l'expert pédagogique et qui constitueront donc le résultat de sa mission.
4. Écriture d'un scénario détaillé	
Le <i>storyboard writer</i> et le directeur artistique remplissent les parties manquantes du scénario ou en éliminent les possibles incohérences.	Le travail pédagogique d'adaptation et de finalisation du scénario s'affine au fur et à mesure que l'on finalise les tests qui permettent de vérifier l'ergonomie et l'efficacité des éléments qui composent le SG. Pour ce but, l'expert pédagogique (ou le <i>game designer</i>) et le directeur technique résolvent les problèmes qui se posent.
Le scénario pédagogique doit tenir compte des éléments suivants :	Le scénario pédagogique doit tenir compte des éléments suivants :
• les interactions entre l'apprenant, le formateur et l'ordinateur ; • les activités et les objectifs à atteindre ; • les sessions d'activités • les modules de progression.	• les objectifs d'apprentissage et les parcours de formation qui concernent des sujets spécifiques ; • les interactions avec l'environnement et les objets de façon à pouvoir accéder au scénario et donc à l'apprentissage ; • un système de progression, d'évaluation ou un score ; • la possibilité de personnaliser les parcours de formation selon les exigences de l'enseignant et des apprenants ; • des stratégies de ludification ou <i>gamification</i>. Pour la réalisation optimale de cette phase, nous proposons l'intégration d'une figure professionnelle novatrice. Nous la présenterons dans le chapitre suivant (6)
5. Interface Homme-Machine	
Les outils proposés sur l'écran, pour l'orientation ou les menus, font partie de l'interface qui règle les possibilités d'interaction entre l'apprenant et l'ordinateur, en vue de l'accès à de l'information à buts pédagogiques.	Tout menu, plan d'orientation dans l'environnement 3D et tout autre élément de communication entre « la machine » et la personne sont considérés comme faisant partie intégrante de l'interface Homme-Machine. Elles ont comme objectif la communication entre l'utilisateur et la machine afin de rendre possible l'accès à l'apprentissage. Comme pour l'étape précédente, afin d'obtenir

	une réalisation optimale de cette phase, nous proposons l'intégration d'une figure professionnelle novatrice. Nous la présenterons dans le chapitre suivant (6).
6. Recherche des composantes techniques et <i>software</i>	
Les experts techniques collectent des logiciels et choisissent les techniques pour réaliser les indications du scénario. Ceci signifie qu'à partir d'un scénario plus ou moins détaillé, les techniciens, développeurs <i>etc.</i> doivent réfléchir à la manière de le scénariser dans l'environnement simulé.	Il s'agit également d'un processus qui est sujet d'évolutions et qui a lieu (comme pour l'écriture du scénario) tout au long de la conception du SG voire lors des premières phases de développement. En effet, il est possible que certains aspects, comme l'interface homme-machine, soient modifiés suite aux tests utilisateurs dans le cas où ces derniers identifient une anomalie ou une difficulté d'usage. Les éventuelles modifications sont reconsidérées et discutées par les experts pédagogiques et techniques. Le chef de projet valide les modifications. Néanmoins, dans notre démarche de conception des SGs, nous ne pouvons pas circonscrire cette activité de choix technique dans une phase précise. Au contraire, nous pouvons définir en principe les préférences technologiques du public destinataire du SG au début du projet. Ensuite les ajustements et la résolution des problèmes ou des incohérences sont faites cycliquement au long de la réalisation du <i>serious game</i> .
7. Contrôle qualité et tests d'utilisation	
Afin de contrôler la qualité pédagogique, un test est effectué pour vérifier l'efficacité pédagogique et la pertinence des contenus produits qui doivent être intégrés dans le logiciel.	L'expert pédagogique se charge de réaliser des tests d'utilisabilité auprès des utilisateurs-types, destinataires de l'apprentissage, afin de vérifier la pertinence des contenus scénarisés. La même démarche est envisageable pour vérifier le niveau d'aisance de l'usage de l'outil. Les techniques de <i>User Experience (UX)</i>, diffusément utilisées dans les processus de <i>Video Game design</i>, peuvent offrir des ressources très précieuses, non seulement en ce qui concerne l'utilisabilité de l'interface et des éléments du SG, mais aussi pour celles qui sont inhérentes à l'utilisation effective qui sera faite du dispositif dans une situation naturaliste. De plus, cette méthode permet de prendre en considération des éléments plus hétérogènes, pas seulement liés à l'exécution de la tâche, comme par exemple, dans l'ordre des émotions et des représentations.
8. Développement du <i>serious game</i>	
Dans le but de réaliser l'outil, une répartition des tâches de développement entre les membres de l'équipe interne et des sous-	La répartition des tâches pour la réalisation d'un <i>serious game</i> se fait idéalement à la suite d'une première version du cahier des charges. Elle permet

traitants est réalisée.	d'avancer plus rapidement dans la production des éléments du décor et des bases du jeu. Dans cette perspective, l'expert pédagogique peut avancer ses propositions aux développeurs, installer les relations de collaboration et avoir un retour sur la pertinence et la faisabilité des stratégies proposées.

Tableau 13 : Comparaison entre les modèles LEGADEE et PEGADE

La littérature que nous avons consultée au sujet du SG *design*, a tendance à traiter le sujet de la conception sous un aspect organisationnel de gestion des tâches à accomplir sous un regard principalement technique. L'aspect pédagogique de la conception est souvent considéré comme détaché ou externalisé du processus. Autrement, d'autres approches théoriques font référence à la conception pédagogique et aux objectifs à atteindre, sans mentionner l'importance de connaître les contraintes et les possibilités techniques qui permettent de rendre « visible » et donc de scénariser cette conception pédagogique.

En conclusion de cette brève revue de la littérature, nous pouvons avancer deux observations majeures. La première concerne la rareté des modèles décrivant le processus de conception d'un SG, que nous expliquons à la fois par le caractère récent du phénomène, mais aussi par son empreinte « artistique » qui implique une disponibilité des ressources financières indispensables à la réalisation du SG. La seconde consiste dans l'identification d'une fragmentation du processus de conception, due, d'une part, à la multitude des personnes s'occupant du choix et de l'adaptation du SG et, de l'autre, à la difficulté de concevoir des scénarisations des contenus pédagogiques susceptibles de combiner les aspects « sérieux » et « ludiques ».

Aussi, avançons nous une proposition de solution alternative que nous avons mise en œuvre sous la forme d'un modèle holistique et cyclique de conception, qui permet d'éviter les incohérences et les problèmes liés à l'hétérogénéité des langages et des priorités qui caractérisent les professionnels.

6.2. Le PGD (*Pedagogical Game Designer*) : une nouvelle figure professionnelle

Le PGD (*Pedagogical Game Designer*) est la nouvelle figure professionnelle que nous proposons comme facteur d'innovation susceptible d'apporter une valeur ajoutée à notre modèle de SG *design*. Cette figure professionnelle assurerait une meilleure intégration des contenus pédagogiques et des mécanismes de jeu au sein du scénario du SG. En effet, le PGD représenterait le connecteur du dialogue entre les acteurs, ainsi que le fil conducteur de tout le processus de conception d'un SG. Pour garantir cette expertise, ce professionnel devrait être spécialisé dans les stratégies d'apprentissage, et notamment d'*e-learning*, intégrant les

technologies informatiques mais aussi avoir de solides notions en matière de stratégies de scénarisation (*storyboarding*) et de ludification (*gamification*). En outre, le PGD devrait maîtriser les stratégies de transformation du système d'évaluation de l'apprenant-utilisateur en une stratégie de *scoring*, ainsi que de la *gamification* ce cette dernière ; le volet artistique est ici toujours à rechercher comme ressource précieuse pour l'aboutissement de sa mission. Par ailleurs, le PGD devrait avoir développé une très bonne connaissance des interactions homme-machine, de la terminologie spécifique à l'informatique et des mécanismes de programmation. Cette connaissance des aspects techniques semble souhaitable et même nécessaire afin que les choix pédagogiques puissent être réalisés en pleine conscience de de la façon dont ces derniers pourront effectivement être transformés sur un support logiciel. Il semblerait ici qu'un PGD doive incarner la figure du « super héros » des SGs. Nous pensons, en effet, qu'un suivi complet de tout le processus de conception et de développement d'un SG à la manière d'un chef de projet ne serait pas superflu. Le PGD doit approuver le travail des autres professionnels et les diriger de façon à ce que le résultat soit harmonisé avec les théories et les stratégies de l'apprentissage sous-jacentes à l'architecture du SG. Toutes ces compétences feront d'un PGD une figure-clé capable de conduire la réalisation d'une scénarisation des contenus pédagogiques dans un jeu plus unitaire et pertinent, permettant d'assurer une balance équilibrée entre ses parties « sérieux » et « ludique ». Comme nous l'indiquons dans la figure 11 (p.150) le PGD sera la figure centrale de la conception. Sa présence, de plus, assurera une ré-orientation rapide en cas de problème technique ou de priorité de la part du client. Le PGD devra pouvoir assurer la disponibilité des informations supplémentaires qui pourraient être indispensables à un moment donné ou à un autre, même dans le cas où les experts du domaine ne seraient pas disponibles au sein du processus de conception. Responsable de la qualité pédagogique du SG, le PDG devra s'appropriier complètement de la matière d'apprentissage et, dans ce but, il sera souhaitable qu'il puisse consacrer beaucoup de temps à la recherche d'informations non seulement auprès du client commanditaire du SG, mais aussi auprès des cibles de l'apprentissage. En effet, contrairement à ce que nous avons préconisé, nous avons observé que, dans des modèles plus répandu de SG design, des experts du domaine de référence sont inclus dans les toutes premières phases d'explicitation et d'identification des besoins d'apprentissage mais que, pour des raisons financières, ceux-ci ne sont pas intégrés à l'équipe par la suite. Dans ce cas, l'accès à l'information n'est pas garanti pendant toute la conception. L'avantage d'opter pour l'intégration d'un acteur qui se chargeant de la recherche et de la transformation de ces contenus tout au long du processus, fait que ces derniers seront maintenus de façon constante. De plus, en cas de besoin, le PGD pourra rechercher les informations ou les personnes détentrices de l'information souhaitée à tout moment du processus. En partant de ce principe, nous devons répondre à une question fondamentale : quelle est l'activité réelle du PGD lors du processus de conception de

SG ? Comment les choix d'un PGD sont-ils faits dans ce processus ? Quelles sont ses interventions cruciales au cours du processus de conception de SG ? Les descriptifs suivants se proposent de répondre à ces questionnements.

- Le PGD se chargera de la collecte des informations relatives à la discipline ou au domaine de compétences pour lesquels un SG est envisagé ; dans cette optique il utilisera une stratégie d'identification des besoins de l'ordre participatif qui inclura l'utilisateur au sein du processus ;
- Le PGD se chargera de l'investigation du rôle de l'utilisateur primaire pour lequel le SG est conçu. Dans ce but, il utilisera une approche de conception participative de « *User-Centred Design* » (UCD) qui présuppose l'inclusion dans le processus des personnes destinataires, approche qui recueillera de nombreuses méthodes. Aussi plusieurs rencontres devront être planifiées non seulement avec les commanditaires, mais aussi –et surtout- avec les utilisateurs cibles du SG.
- Le PGD analysera le contenu des informations ainsi que les problématiques préalablement identifiées et rendra explicites les contenus pédagogiques les mieux adaptés à leur intégration dans le dispositif.
- Le PGD concevra des solutions d'adaptation des contenus pédagogiques afin de constituer un scénario composé, dans un premier temps de plusieurs « scénettes » qui intègrent des éléments fondamentaux tels que les mécanismes de jeux et des solutions de *gamification*. Il les proposera ensuite à l'expert technique puis, ensemble, ils envisageront l'utilisation de certaines technologies en tenant compte, entre autres, des disponibilités et des exigences techniques du client. De son côté, l'expert technique évaluera la faisabilité des propositions et conseillera les stratégies techniques les plus efficaces et les moins coûteuses. Dans cette phase, une première version du scénario pédagogique sera proposée et sa faisabilité et pertinence seront validées par l'expert technique. Les stratégies de *gamification*, plus ou moins liées à la narration, y seront également proposées. A partir de ce moment, l'expert technique pourra distribuer le travail de développement aux informaticiens (plan, personnages, décors, interactions, le score, le *feedbacks*, la socialisation communautaire, etc.).
- Le PGD proposera un système d'évaluation et de *score* (évaluation) à l'expert technique qui le validera. Ensemble, ils réfléchiront à un algorithme sur la base des exigences pédagogiques du client et sur l'analyse des contenus pédagogiques qui ont été classés et hiérarchisés en phase initiale d'identification des besoins et des objectifs d'apprentissage.

- Enfin, avec le directeur technique et les informaticiens, le PGD cherchera des stratégies pour améliorer l'interface homme-machine et les interactions de l'utilisateur avec les objets ou les autres personnages. Des tests-utilisateurs seront réalisés afin de comprendre les points d'amélioration du produit. Par conséquent, les modifications nécessaires seront apportées.

Il est évident qu'en argumentant pour l'adoption d'un modèle de SG comme celui de PEGADE, mettant en son centre la figure d'un PGD, nous ne voulons pas sous-estimer le rôle des autres professionnels impliqués dans le processus. En effet, c'est grâce à la coopération avec d'autres professionnels, leurs connaissances de la technologie utilisée pour produire le jeu sérieux et leur créativité, que le PGD pourra faire le choix le plus pertinent pour la réalisation d'un jeu sérieux de grande efficacité. Nous préciserons les interactions entre le PGD et les autres professionnels à travers notre modèle de conception de SG.

6.2.1. Le PGD et l'approche de conception centrée sur l'utilisateur : « User-Centred Design »

Lors de la conception de tout outil de formation, la connaissance du domaine de référence - qui s'acquiert grâce à une analyse de ce dernier -, représente une tâche fondamentale qui peut être réalisée à travers différentes méthodes. Le PGD – qui se substitue souvent à la figure de chef de projet - peut accompagner le client dans la formulation de ses besoins, bien que parfois, une recherche approfondie d'informations peut paraître suffisante. Cependant, ces méthodes de conception produisent souvent des formations inadaptées aux besoins d'apprentissage ou alors, ne ciblent pas suffisamment l'acquisition des compétences ou des connaissances visées. On s'aperçoit très vite que la conception d'une formation efficace nécessite non seulement une analyse approfondie des contenus d'enseignement mais aussi toutes les variables qui composent une situation d'apprentissage/enseignement et, notamment, les représentations, les activités, mais aussi des émotions des acteurs de l'apprentissage (enseignants, apprenants, chefs, travailleurs, etc.), sans pour autant négliger l'environnement d'apprentissage.

Nous avons développé comment le PGD pourrait être le responsable de cette analyse. Le modèle PEGADE intègre, dans l'une de ses phases préliminaires, une approche participative de conception des environnements d'apprentissage qui met l'utilisateur au centre de la conception : la *User-Centered Design* (UCD). Cette démarche repose sur l'idée que les utilisateurs d'un dispositif sont les mieux placés pour réaliser l'évaluation et l'utilisation du produit. Cette méthode de conception est caractérisée par un processus multidimensionnel qui consiste, à la fois, en l'observation et l'analyse de la façon dont l'utilisateur s'approprie, le produit, mais aussi dans la validation, en situation reproduite bien que réaliste, des déductions qu'en fait le concepteur à partir des informations et des comportements qui lui sont renvoyés par

l'utilisateur. Ce processus prend donc une forme circulaire qui peut et doit être réalisée en début de conception, mais qui peut et doit intervenir dans toutes les autres étapes.

Cette approche centrée sur l'utilisateur s'appuie sur la norme ISO 9241-210, 2010²⁶ et elle est décrite par six principes de *design* que nous reprenons ci-dessous :

1. le *design* de l'outil est basé sur une compréhension explicite des utilisateurs, de ses tâches et de ses environnements ;
2. les utilisateurs sont inclus dans le processus de *design* et de développement de l'outil ;
3. le *design* est dirigé et recadré par les évaluations offertes par l'utilisateur ;
4. le processus est itératif (et nous rajouterions cyclique) ;
5. le *design* doit faire référence à l'expérience de l'utilisateur dans toute sa complexité ;
6. le *design* inclut des compétences et des perspectives multidisciplinaires.

6.2.1.1. Les phases de la *User-Centered Design* (UCD)

Mayhew (1999) décrit la UCD comme consistant en un processus itératif composé de trois phases :

1. *Analyse*. Il s'agit de la formulation des attentes et des besoins des utilisateurs finaux. Si l'on prend l'exemple d'un dispositif de formation, le but sera de comprendre quels sont les objectifs de l'apprentissage. Dans le cas du développement des compétences (nous verrons cela dans le détail dans le chapitre 6.4), l'objectif devra permettre de comprendre quelles sont les tâches prescrites, perçues et réelles ainsi que le contexte (l'environnement de travail) dans lequel ces compétences doivent être mises en œuvre. Pour réaliser ces observations, plusieurs méthodes ont été déployées : les questionnaires, les grilles d'observation et les *focus group*.
2. *Conception*. Sur la base des éléments recueillis dans la phase d'analyse, la première conception de l'outil ou du dispositif peut être envisagée. Cette conception doit tenir compte, entre autres, des principes et des recommandations ergonomiques. Nous verrons comment, dans un processus de SG design, cette phase de conception est à son tour constituée de sous-parties qui en assurent l'efficacité en termes de scénarisation et d'apprentissage.
3. *Evaluation*. Il s'agit de la mesure l'utilisabilité effective du produit et de son efficacité selon l'objectif pour lequel le dispositif a été conçu. Les méthodes qui peuvent être utilisées à cette fin sont multiples, la plus connue étant le *Usability Test* (test utilisateur) (Baccino *et al.* 2005) qui consiste à placer l'utilisateur en situation réelle en lui donnant des tâches à accomplir et de l'observer pendant qu'il utilise le produit ou le dispositif.

²⁶ *Human-centred design for interactive systems* (ISO 9241-210, 2010)

Réalisée à l'aide de grilles d'observations, d'enregistrements et de questionnaires, cette évaluation permet d'identifier les éventuels points faibles qui doivent être améliorés. Suite à la correction de ces derniers, un test, analogue, supplémentaire de même nature sera réalisé.

6.2.1.2. Les profils d'utilisateurs « *Personas* »

Afin de concevoir un dispositif adapté, il est nécessaire de connaître les caractéristiques du public destinataire afin de mieux répondre à ses besoins. Idéalement, le concepteur s'assure que le dispositif est effectivement une réponse au besoin exprimé par l'utilisateur. Toutefois, il est évident que l'utilisateur réel n'est pas le seul à être susceptible d'utiliser le produit car, dans la réalité, d'autres publics comparables pourraient être intéressés par son utilisation. Si l'on prend le cas de LabQuest, ce SG a été conçu dans le but de former les personnels travaillant dans des zones aseptiques et, par conséquent, dans une optique de développement de leurs compétences. Cependant, lors de la conception du dispositif, l'opérateur n'a pas été le seul à être inclus dans le processus participatif de conception. En effet, un rôle non négligeable a aussi été attribué, dans le cas des entreprises pharmaceutiques, aux formateurs susceptibles de se servir de l'outil pour l'animation de leurs formations, besoin auquel nous avons seulement pensé à la suite de notre premier cycle d'évaluation selon cette méthode. C'est pour cette raison que le concepteur devrait réfléchir à la possibilité d'inclure dans les besoins de conception le profil des utilisateurs potentiels en addition de celui des utilisateurs réels, qui pourraient être intéressés par la découverte du dispositif.

Dans le cadre de la UCD, nous définissons comme « *personas* » l'archétype d'un utilisateur (donc la déclinaison de tout utilisateur potentiel) qui est créé afin de guider le concepteur dans la réalisation des choix relatifs aux caractéristiques du produit, aux modalités de navigation, au support et au *design*. Souvent, les *personas* sont construits au moyen de techniques plus ou moins protocolaires (souvent par des entretiens), grâce auxquelles le concepteur sera capable d'identifier les caractéristiques des utilisateurs ainsi que leurs compétences, leurs aptitudes, leurs objectifs, leur environnement, *etc.* (Cooper & Reimann, 2003). La définition de profils de personnes aux profils différents peut se révéler comme une stratégie intéressante lorsqu'il s'agit de réaliser des choix en fonction du public auquel on s'adresse. De ce fait, les concepteurs devraient différencier les utilisateurs/*personas* primaires (comme par exemple les opérateurs, dans le cas de LabQuest) et les utilisateurs/*personas* secondaires qui pourraient, pour une raison ou pour une autre, être conduits à utiliser le produit tout en n'étant pas sa cible principale (dans le cas de LabQuest, par exemple, d'autres instituts de formation pourraient être intéressés par le produit pour proposer à leur tour de nouvelles formations). De la même manière, il existe une

catégorie de *personas* nommée *anti-persona* qui décrit notamment les profils d'utilisateurs qui ne seraient pas intéressés par l'usage du produit. La définition des *personas* permet donc de créer, au sein de l'équipe, une compréhension commune du public pour lequel le dispositif est destiné. Il arrive cependant parfois que les *personas* soient construits de façon stéréotypée, ce qui pourrait nuire à l'ensemble du processus de *design*. Ce cas ne se présente fort heureusement que rarement et constitue un danger limité par rapport aux avantages conséquents à l'utilisation de cet outil pour la définition de la cible des utilisateurs.

6.2.1.3. Les méthodes d'analyse

Plusieurs sont les méthodes qui peuvent être utilisées pour réaliser une conception basée sur la UCD. D'ailleurs, une combinaison de plusieurs méthodes entre-elles pourrait offrir des données plus précises sur les problématiques rencontrées ou sur les usages qui sont effectivement réalisés du produit dans un contexte naturaliste, réel d'utilisation. Ceci à, par exemple, été le cas pour la conception de LabQuest. Parmi ces méthodes nous citons les plus connues :

- La *contextual inquiry*²⁷ consiste en une observation par le chercheur de l'utilisateur en train d'interagir avec le logiciel ou l'interface proposée. Cette méthode peut être proposée à tout moment de la conception dès que le développement du produit en permet l'interaction. Cette méthode est caractérisée par trois moments clés : 1° le chercheur présente le dispositif et la mission que l'utilisateur doit réaliser au sein du dispositif-même ; 2° le chercheur observe l'utilisateur en train d'utiliser le dispositif et prend des notes relatives à son comportement ; 3° le chercheur récapitule ses observations à l'utilisateur, ce dernier peut corriger ou expliquer certaines points ou éclairer des points obscurs qui sont apparus pendant l'observation.
- Le *design focus group*²⁸ consiste en l'organisation d'un groupe de personnes qui échangent autour de leur expérience avec le dispositif qui a été développé. Cette méthode a des avantages par rapport à d'autres, car des idées d'utilisation ou des détournements du dispositif, qui n'étaient pas envisagées par le chercheur, pourraient émerger des échanges au sein du groupe.
- Le *participatory design*²⁹ est une méthode qui présuppose une véritable co-construction du dispositif avec le ou les utilisateurs potentiels du dispositif. Cette méthode, très laborieuse et chronophage, car elle demande la présence de plusieurs acteurs et donc leur disponibilité, est souvent appliquée à des petits projets ou alors dans des phases de prototypage.

²⁷ En traduction française « analyse contextuelle »

²⁸ En traduction française « conception par groupe de discussion »

²⁹ En traduction française « conception participative »

- Les questionnaires sont des outils d'enquête très utilisés car ils sont d'administration facile et flexibles dans leur restitution. De plus ils peuvent fournir des données statistiques sur une plus grande population et pas nécessairement sur la cible exclusive du dispositif.
- Le test d'utilisabilité (*usability test*) est l'une des méthodes les plus utilisées et consiste en une observation des utilisateurs en train d'explorer le dispositif et auxquels on aura donné des tâches à réaliser. De ce fait, pendant cette activité de l'utilisateur, le chercheur peut annoter sur une grille d'observation pré-établie les éventuels problèmes que le sujet aura rencontrés lors de la réalisation de ses tâches.
- Le *card sorting*³⁰ est une méthode exploratoire qui consiste à demander aux utilisateurs d'associer des catégories à un moment donnée de l'exploration du dispositif. Cette méthode est notamment utilisée dans le cas de la conception de sites webs dans lesquels chaque page a vocation à offrir des informations très ciblées.

6.2.2. Le PGD et LabQuest vis-à-vis de l'opérationnalisation de l'analyse de l'activité et l'identification des contenus pédagogiques.

Le PGD est le seul professionnel (à l'exception du chef de projet auquel il pourra se substituer) qui possède une connaissance globale de toutes les informations liées à la conception et au développement du projet. Afin de pouvoir réaliser la meilleure intégration possible de l'apprentissage dans l'outil de simulation il doit, tout d'abord s'immerger dans le terrain de référence pour lequel le SG doit être réalisé. Certaines sociétés développant des jeux sérieux ont pris pour habitude de faire appel à des experts du champ de référence, afin de lister les informations importantes, les règles, les normes, les comportements, les gestes et les activités qui doivent être enseignés. Même si cette méthode semble être efficace dans une perspective de temps et de ressources, elle néglige en réalité des aspects fondamentaux de l'apprentissage : l'apprenant, l'enseignant et l'environnement de travail ou d'apprentissage. En tant que garant d'une conception efficace du SG, le PGD réalise une conception participative du SG, la UCD, qui inclut non seulement les commanditaires du SG, mais aussi et surtout les sujets destinataires de la formation. Toutefois, lorsque l'on parle de compétences, nous pouvons retrouver dans la littérature des méthodes déjà disponibles de conception des formations. Nous faisons ici référence à la didactique professionnelle et à l'ergologie. Dans cette perspective, dans le cadre spécifique de la conception de LabQuest, qui a pour but le développement des compétences professionnelles, nous avons adapté la méthode d'analyse de l'activité de travail (voir chapitre 3.2), qui est déjà amplement utilisée pour la conception de formations professionnelles non pas nécessairement médiées par l'ordinateur. L'avantage de cette méthode,

³⁰ En traduction française « association de cartes »

comme nous pouvons le remarquer à travers ses affinités avec une approche participative de type UCD est, notamment, que tous les acteurs présents dans l'écosystème « travail » sont pris en considération. De plus, au même titre que la UCD, une attention particulière est consacrée à l'employé/travailleur et, dans le cas plus spécifique de LabQuest, à l'opérateur.

La didactique professionnelle a conçu des méthodes participatives d'analyse de l'activité de travail, qui ont comme objectif la conception de formations efficaces afin d'acquérir des savoirs et savoir-faire spécifiques à un métier. Par conséquent, ces techniques peuvent être employées pour la conception de tout apprentissage visant le développement de compétences. Aussi, dans le cadre de la conception de LabQuest, avons-nous jugé pertinente l'adaptation d'une méthode déjà existante et diffusée, pour une approche plus large centrée sur l'apprenant-utilisateur. Dans ce but, le PGD, figure professionnelle responsable de la conception de la formation et plus précisément du SG, devra être en mesure de réaliser une analyse de l'activité de travail ayant comme mission d'identifier les objectifs et les sujets plus sensibles en termes d'apprentissage, pour aboutir à leur adaptation optimale au sein du SG. En fait, tous les contenus pédagogiques de l'objet d'apprentissage devront être rendus explicites et être analytiquement déconstruits afin de mettre en évidence les aspects critiques de la matière d'apprentissage.

Dans cet objectif, le PGD devra :

- 1) rendre explicites les règles et les objectifs d'apprentissage du point de vue des formateurs ou des enseignants (Leplat & Hoc, 1983) ;
- 2) comprendre quelles sont les stratégies de résolution de problèmes effectivement appliquées par les apprenants, dans un contexte réel, et en souligner les aspects les plus critiques de l'apprentissage (difficultés, incohérences). Dans ce but, le PGD devra effectuer une observation naturaliste de la personne en train de réaliser son activité. Souvent, les personnes développent des heuristiques pour résoudre les problèmes, qui diffèrent de celles qui sont effectivement enseignées ou attendues. Cette façon non-orthodoxe de résoudre les problèmes peut, parfois, s'avérer efficace. Néanmoins, ces comportements hasardeux, peuvent souvent avoir de graves répercussions sur la sécurité de la personne, voire de tierces personnes (Leplat, 2004) ;
- 3) analyser les représentations que les apprenants ont de leur propre activité. En effet, l'écart entre la règle et le comportement réellement produit est souvent causé par une distorsion de la perception de la personne. Souvent, ces représentations sont différentes en fonction du rôle ou de la position que les personnes occupent dans la hiérarchie ou de leur situation : par exemple, dans une formation pour obtenir le permis de conduire, l'apprenti pourrait focaliser son attention sur l'utilisation correcte des commandes de la voiture, tandis que le tuteur se soucierait davantage du respect des signaux.

- 4) étudier l'environnement dans lequel les gens effectuent habituellement leur activité (Leplat & Hoc, 1983). En effet, un changement d'environnement peut conduire à modifier la façon d'apprendre ou de résoudre des problèmes, donc à des variations d'activités.

L'information extraite de ces quatre étapes doit permettre au concepteur de SG de dresser une liste des contenus pédagogiques qui doivent être appris afin de développer une connaissance ou compétence particulière.

6.2.3. De l'ingénierie pédagogique à la conception d'un scénario intégré

Pour un apprentissage efficace, le PGD doit être en mesure de concevoir un scénario pédagogique capable d'intégrer de manière optimale, non seulement tous les bons contenus d'apprentissage qui s'adaptent aux techniques sélectionnées, mais aussi les meilleures stratégies de scénarisation, en y intégrant les mécanismes de jeu les plus appropriés pour rendre l'apprentissage divertissant. En effet, le simple choix des contenus pédagogiques à intégrer ne suffit pas pour suggérer la meilleure manière dont ces éléments doivent être scénarisés, d'autant plus qu'un profil technique ou artistique (un développeur ou un *game designer*) pourrait ne pas savoir choisir la stratégie d'apprentissage cognitivement et pédagogiquement la plus appropriée pour l'acquisition d'une compétence. Par exemple, lors de la conception de LabQuest (Denami & Marquet, 2015), l'identification de la norme "désinfection des mains" comprenait trois différents objectifs d'apprentissage : d'une part, la notion d'« intervalle de temps maximal » selon lequel une désinfection des mains doit être réalisée toutes les 15 minutes ; d'autre part, la référence au moment où cette désinfection être faite, notamment à la suite de quels gestes critiques comme par exemple quand les mains sont proches du sol (*cf.* figure 7) ; enfin la référence à la façon dont la procédure de désinfection des mains doit être réalisée : elle est en fait composée de 5 nécessaires étapes afin de contenir le risque de contamination (paume, pouce, espaces interdigitaux, etc. *cf.* figure 26). En ce qui concerne les deux premiers objectifs, nous n'avons pas rencontré de limitations techniques pour les simuler dans le scénario à la première personne : l'avatar peut se déplacer dans l'environnement virtuel et cliquer sur les objets qui permettent la désinfection des mains autant de fois qu'il le pouvait (*cf.* figure 8). En ce qui concerne le troisième objectif relatif aux étapes nécessaires à une bonne désinfection des mains, un expédient pédagogique a été construit, par lequel il est demandé à l'utilisateur de changer de point de vue : dans le rôle d'un superviseur, sa mission consiste, cette fois-ci, à observer une tierce personne en train de réaliser une procédure de désinfection des mains et d'en signaler les éventuelles erreurs (*cf.* figure 9).



Figure 8 : Première personne. Désinfection des mains au bon endroit



Figure 9 : Troisième personne. Procédure de désinfection en cinq étapes

Une ingénierie pédagogique³¹ efficace en termes d'apprentissage nécessite certaines précautions afin de créer la meilleure intégration des contenus pédagogiques au système de jeu choisi. Si l'on reprend la formulation du modèle de l'adaptation instrumentale issue de notre thèse, l'ingénierie pédagogique de conception des SGs doit viser à l'adaptation optimale des artefacts didactiques (objets/connaissance disciplinaire) des artefacts pédagogiques (le formalisme de représentation des connaissances), tout en utilisant les artefacts techniques (le système au travers duquel l'apprentissage peut se dérouler) les mieux adaptés à ce but. Cette démarche ingénierique voit son application à tout moment de la conception du SG ; elle comporte néanmoins une étape importante et délicate particulière lors de la deuxième phase d'adaptation des objectifs pédagogiques au dispositif et pendant l'écriture du scénario global. Cette phase, comme nous l'avons expliqué, demande au concepteur de prendre en considération chaque objectif d'apprentissage et de concevoir, pour chacun, des possibilités de scénarisation homogènes afin que le dispositif final puisse faire preuve de pertinence et de cohérence internes. Comme Barbosa et ses collègues le soulignent (Barbosa *et al.*, 2014), lors de la conception d'une situation d'apprentissage, l'ingénierie pédagogique exige, non seulement la connaissance de la matière d'apprentissage, mais aussi une dose de créativité. De même, lorsqu'il s'agit de créer une formation sous la forme d'un SG, la dimension créative s'accroît en raison de l'importance que la composante « jeu » présente au sein d'un tel dispositif. D'une manière générale, la conception des scénarios (*storyboards*), potentiellement sans limite d'imagination, doit être réalisée en fonction des technologies disponibles ou imposées par le commanditaire. Dans cette même logique, lors de l'écriture d'un *storyboard*, le concepteur (PGD) doit être conscient des coûts en termes de temps et donc d'argent que ses idées pourraient générer. Ces connaissances techniques et managériales sont indispensables pour optimiser les

³¹ *Instructional Design*

allers-retours avec les développeurs et éviter que le projet aille techniquement au-delà des attentes.

Quelles sont les règles, les principes ou les stratégies qui doivent être pris en considération par les concepteurs lors du *design* d'un SG ? Les possibilités de scénarisation d'un même contenu d'apprentissage sont nombreuses, pour ne pas dire quasiment infinies. Notre expérience personnelle de SG *design* nous fait retenir les suivantes :

- la résolution réaliste des problèmes centrés sur l'activité (*realistic problem-centred activities*). Lors de la conception d'un SG, il est fondamental de choisir un cadre d'apprentissage compréhensif de lois et de caractéristiques internes qui le spécifient et qui le distinguent des autres univers. Au sein de ce cadre, l'apprenant doit être conduit à résoudre le plus possible des problèmes qui s'y posent et auxquels ils sont liés par des relations de cause à effet. Cette résolution de problèmes devrait être le résultat de l'activité du personnage qui accomplit des actions. Les raisons de cette stratégie de scénarisation ont été longuement discutées dans le chapitre 2.2.4. qui traite de l'apprentissage par l'action et dans le chapitre 2.1 qui présente la stratégie de la résolution de problème (*problem solving*) en situation.
- l'unité de la mission : le but ultime. Le scénario doit être représenté par une histoire pour laquelle l'utilisateur/apprenant pourrait se passionner. Peu importe le nombre d'exercices, de niveaux, de personnages que le SG proposera, il est néanmoins fondamental de garantir que l'utilisateur puisse s'identifier de façon optimale et donc d'adhérer au jeu. Dans ce but, il est nécessaire de créer une mission unitaire qui soit en mesure de motiver l'utilisateur à poursuivre le jeu/apprentissage.
- la non-interruption de l'immersion et de la concentration (*flow*). Toutes les composantes du scénario (sons, images et décors) doivent être réalisées de façon à ce que l'apprenant-utilisateur ne perçoive à aucun moment des incohérences sensorielles ou cognitives. De plus, les situations-problèmes doivent être proposées tout au long du scénario de façon naturalisée à l'environnement, en d'autres termes, l'histoire racontée doit avoir une cohérence interne. L'utilisation de *pop-up* ou d'écrans superposés, proposant la résolution d'un exercice est, par exemple, non conseillée afin de garantir un *flow* constant dans le jeu.
- Le *gameplay* : il s'agit de la façon dont l'utilisateur interagit avec l'ordinateur. Il inclut, non seulement les règles qui caractérisent la manière dont les missions dans le jeu doivent être menées à terme, mais aussi la façon et le style avec lequel le *storyboard* a été créé. Le *gameplay* doit être intuitif, immersif et en même temps addictif. L'apprentissage doit se faire de façon naturelle et divertissante. L'apprenant ne doit pas avoir l'impression de faire un effort pour apprendre.

- L'équilibre entre plaisir et frustration. Il est très important de créer un environnement d'apprentissage qui soit plaisant mais qui présente aussi pour l'apprenant des moments de frustration. Ces derniers doivent être calibrés de telle façon que l'apprenant, sans se sentir « impuissant » face à l'exercice, soit tout de même conduit à ressentir un challenge qui le pousse à s'impliquer dans sa résolution (Chen, 2010).
- les *feedbacks*. L'utilisation des *feedbacks* est très importante pour soutenir l'apprentissage de l'utilisateur qui se trouve seul devant un écran. Ils ont vocation à conduire l'action de l'apprenant en lui fournissant des retours immédiats sur la pertinence ou non des actions accomplies.
- la captation émotive et empathique avec le personnage principal. Dans les phases initiales du jeu, il est important de créer une introduction à l'histoire qui puisse captiver l'utilisateur et l'intéresser à l'accomplissement des missions du jeu. Une certaine empathie doit s'installer pour le personnage principal. De ce fait, une identification de la personne avec un personnage ou avec sa mission pourrait avoir un impact sur son investissement dans l'exercice et donc en motiver l'apprentissage.
- la maîtrise du niveau de surcharge cognitive. La charge cognitive est définie comme l'effort mental réalisé par un individu durant une activité d'apprentissage. En effet, afin d'atteindre un apprentissage efficace, il faut s'assurer que la charge cognitive requise ne soit ni trop faible (sous-charge) ni trop élevée (surcharge). Ce concept a été très étudié par les psychologues cognitivistes afin de comprendre quels pouvaient être les freins à l'apprentissage. De ce fait, cette théorie, *en accord avec les modèles d'architectures classiques du système cognitif [...] composée d'une mémoire de travail à capacité limitée* (Tricot, 1998, p. 39) indique qu'une ne connaissance peut atteindre la mémoire à long terme qu'à condition que le traitement de cette information au niveau de la mémoire sensorielle et de travail soit avéré efficace. Il se trouve que le débit et la complexité des informations proposées à l'apprenant soient des facteurs impactant la charge cognitive.

Voici trois exemples d'inadaptation ou de non-intégration des scénarisations du SG avec les contenus pédagogiques :

- Défaut dans la détection des contenus pédagogiques. Aujourd'hui, certains « jeux motivationnels » ou de « ludification » ont comme unique objectif de créer une vie virtuelle parallèle qui peut être utilisée dans un contexte scolaire afin d'attribuer un score virtuel à la performance de l'étudiant dans sa vie réelle. Ce dispositif permet de créer une fonction « support » ou d'étayage accroissement (*scaffolding*) motivationnel pour l'apprentissage : l'enseignant peut l'utiliser comme prétexte pour attribuer ou soustraire des points, ou distribuer des récompenses ainsi que des punitions aux élèves (dans leur vie virtuelle) selon les performances qu'ils auront obtenues en classe. Les élèves ont, dans ce cas, la possibilité

de personnaliser leur avatar et de s'identifier dans un environnement virtuel. Cette situation leur offre, dans certains cas, la possibilité de réaliser des actions virtuelles qu'ils n'auraient pas eues lieu dans la vie réelle pour une raison de timidité ou autre. Si, dans un sens, un tel dispositif peut être intéressant pour une « ludification » de la réalité, il apparaît évident qu'aucun objectif d'apprentissage n'y est intégré. Souvent, la motivation à l'utilisation de cette forme de SG, d'un abord initial séduisant pour l'élève, diminue rapidement à la suite des premières utilisations.

- Défaut dans le design du jeu (*game design*). Tout le monde a, au moins une fois, fait l'expérience d'un jeu ennuyeux (*boring game*). Ces SGs « ennuyeux » proposent souvent un recueil d'exercices s'enchaînant les uns après les autres sans qu'aucun élément de « ludification » n'y soit ajouté. Dans ce cas, même si une fine détection des contenus pédagogiques a été réalisée, l'utilisateur n'a pas de véritable intérêt à explorer l'environnement afin de poursuivre la simulation et acquérir l'apprentissage. Nombreux sont les jeux d'apprentissage résultant d'une numérisation des exercices, qui étaient précédemment proposés par des manuels traditionnels auxquels a été rajoutée une certaine interactivité.
- Défaut d'ingénierie pédagogique (*instructional design*). Il existe des dispositifs qui, tout en intégrant les objectifs pédagogiques ainsi que les stratégies de *gamification*, ne parviennent pas à donner comme résultat une adaptation pertinente et efficace de ces derniers au sein de l'apprentissage. C'est le cas le plus récurrent : dans ce type de SG, le scénario du jeu est très bien conçu et les buts et les contenus pédagogiques ont été correctement décelés. Cependant, ces différents aspects ne sont pas adaptés les uns aux autres : si, d'un côté, nous observons une histoire bien conçue et captivante, conduisant l'apprenant dans la scénarisation, de l'autre, les contenus pédagogiques qui s'intercalent tout au long de la narration apparaissent de manières prétentieuses et « déconnectées » ou « non-intégrées » au reste du scénario. Résultant d'une non-intégration du contenu à la narration, ces stratégies de scénarisation des problèmes risquant d'être perçues comme un prétexte à leur résolution et, par conséquent, de frustrer l'apprenant. C'est le cas notamment ici :

"Lillo a une mission : trouver un trésor. Pour accomplir cette mission, il a besoin d'un télescope magique qui lui permet de voir très loin. Il va chez le magicien pour lui demander ce télescope. Le magicien est prêt à lui donner le télescope magique, mais seulement à condition que Lillo résolve la multiplication 2x3 "

Dans ce premier cas, la multiplication "2x3" est proposée au milieu d'une narration sans aucune raison légitime. Nous nous trouvons ici en présence de deux types de contradictions :

- pourquoi un magicien devrait-il lui demander de résoudre une multiplication ? Quelle

connexion y a-t-il avec la réalité ?

- pourquoi la narration doit-elle proposer un exercice complètement détaché de son contexte ? Dans ce cas spécifique le flux du jeu a été interrompu pour proposer un contenu pédagogique/exercice détaché de son contexte.

Proposons-nous, maintenant, l'exemple d'un *storyboard* dans lequel les objectifs pédagogiques sont harmonieusement intégrés dans le scénario et qui corrigerait ce défaut :

"Lillo a une mission : trouver un trésor. Pour accomplir cette mission, il a besoin d'un télescope magique qui lui permet de voir très loin. Il va chez le magicien pour lui demander ce télescope. Le magicien est prêt à lui donner le télescope magique à condition que Lillo lui rende un service en échange : il doit pêcher la bonne quantité de poisson pour nourrir ses 3 chats pour 1 jour, sachant que chaque chat du magicien mange 3 poissons par jour".

Dans ce second exemple, une expérience très réaliste est proposée à l'apprenant. De même que dans la vie réelle, un accord est proposé à l'apprenant : une situation de donnant-donnant. Pour obtenir l'outil dont il a besoin pour trouver son trésor, l'apprenant-utilisateur devra rendre service au magicien. Dans cette optique, l'apprentissage est « situé » et le problème peut être résolu par une activité physique de l'utilisateur : la pêche, même si elle est simulée. Dans cette scénarisation, par exemple, un lac pourrait être simulé. Ou encore, un écran intermédiaire faisant apparaître des poissons pourrait être proposé, sur lequel l'utilisateur pourrait sélectionner le nombre de poissons nécessaires pour nourrir les chats. Dans ce cas, le problème peut être résolu d'une manière réaliste. En fait, aucune information sur la multiplication n'est donnée à l'apprenant. Dans ce cas, le jeu ne dit pas à Lillo que la multiplication qu'il doit résoudre est celle de 3 multiplié par 3. La résolution de ce problème fait en effet appel à des connaissances implicites qui doivent être mises en œuvre de façon réaliste.

Ces exemples montrent que le processus de scénarisation et les compétences requises doivent être étroitement imbriqués. La conception pédagogique doit équilibrer les besoins d'apprentissage qui sont obligatoires pour permettre le développement d'une compétence particulière et préconiser les fonctionnalités techniques à utiliser pour le développement du jeu sérieux.

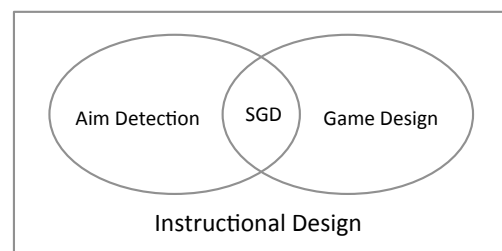


Figure 10 : l'intégration dans instructional design

6.2.4. L'intégration de l'apprenant dans le processus de conception : la *User Experience* (UX)

L'intégration de l'utilisateur potentiel dans le processus de SG *design* est l'une des meilleures stratégies utilisées pour tester l'impact direct que le dispositif peut avoir sur une personne. La méthode qui est utilisée dans le domaine de l'évaluation des technologies, afin d'identifier les problèmes potentiellement émergents pendant l'utilisation d'un dispositif et consiste en la « *User Experience* » (UX) (Garrett, 2010 ; Roto *et al.* 2010). Contrairement au test d'utilisabilité, plus connu et dont l'objectif est de tester la facilité d'utilisation du produit en termes d'efficacité et d'apprentissage (Bevan, 2008), la UX permet d'avoir une vue plus large sur les facteurs qui ont un impact sur l'utilisation réussie et satisfaisante d'une technologie interactive. Une grande importance est donnée aux aspects contextuels du processus d'apprentissage. Lors de la conception d'un SG, le PGD doit comprendre si le contexte d'utilisation est caractérisé par des spécificités d'enseignement, de contraintes d'espace-temps ou d'une limitation du matériel requis pour exécuter le logiciel. L'une des techniques d'observation spécifique utilisée est l'enquête contextuelle (Viitanen, 2011) : il s'agit de réaliser un entretien avec le futur utilisateur menée dans le contexte de son utilisation ultérieure. Cette technique peut être utilisée pour remplir un inventaire des tâches qui peuvent être analysées *a posteriori*, afin d'évaluer la capacité d'adaptation contextuelle du dispositif. De plus, la UX permet d'interroger les composantes affectives résultant de l'interaction de l'utilisateur avec le dispositif. Cette méthode permet d'avoir accès à un aperçu sur la façon dont les émotions peuvent favoriser ou interférer sur l'efficacité expérientielle. Dans cette perspective, l'analyse des émotions ne signifie pas seulement promouvoir une expérience positive tout au long du SG, mais doit aussi être considérée comme une ressource pour le bien-être émotionnel de l'utilisateur. De ce fait, les émotions positives et négatives doivent être équilibrées afin de produire des SGs capables de modifier les compétences et les connaissances des utilisateurs. Par exemple, la joie et la relaxation peuvent aider les utilisateurs à générer un état d'esprit capable de récupérer des ressources positives (Fredrickson, 2001; Riva *et al.* 2012) ; parallèlement, limitée à la difficulté ou au suspense lié à la narration, les frustrations sont des expédients importants capables d'engager les utilisateurs dans des situations simulées pour les rendre stimulantes et intéressantes (Triberti, 2016).

6.2.5. L'importance de prendre en considération la théorie du conflit instrumental et le modèle de l'adaptation instrumentale lors de la conception d'un SG

Arrivés à ce point de la description du processus de conception des SGs, le lecteur pourra se demander quelle est la place de la théorie du conflit instrumental et plus précisément son

évolution, l'adaptation instrumentale. Plus qu'un outil de conception, l'adaptation instrumentale se présente comme un canevas qui permet de prendre conscience de l'importance d'une adaptation optimale des artefacts intégrés dans la situation d'apprentissage et de sensibiliser le concepteur à prendre en considération, à tout moment, les spécificités concernant la conception de la situation d'enseignement-apprentissage. Comme le disent Koehler & Mishra (2009) le concepteur doit connaître clairement le rôle et la fonction de chaque composante de l'apprentissage, Marquet (2003 ; 2011) dirait, plutôt, de chaque artefact. Pour faire un exemple pratique, le concepteur devra, à l'aide d'un tableau, préciser quels sont les objectifs de la formation (artefact didactique), avec quelles stratégies de *storytelling*, *storyboarding* ou scénarisation il compte atteindre ces objectifs d'apprentissage (artefact pédagogique) et, enfin, quels moyens techniques il compte utiliser afin de rendre possible l'interaction avec l'utilisateur-apprenant et le dispositif. Le concept semble être assez simple, mais la recherche de l'adaptation optimale entre ces trois éléments souvent est manquée à cause d'une faiblesse de l'un ou de l'autre artefact. Nous en avons fait quelques exemples dans le chapitre 6.2.2 en proposant les différentes étapes de la conception d'un scénario « intégré ». Il sera cependant encore possible d'observer notre stratégie de catégorisation des contenus pédagogiques dans la partie de la thèse consacrée à la présentation d'exemples pratiques tirés de notre processus de conception (cf. chapitre 6.4).

6.3. PEGADE (PEdagogical Game DEsign) : un modèle holistique de conception des *Serious Games*

C'est autour du PGD cette figure professionnelle innovante, que s'est construit le modèle PEGADE (*PEdagogical Game DEsign*). Il s'agit d'un modèle de conception de SG adaptable qui requiert un modeste investissement économique soutenable, en comparaison à d'autres modèles de fonctionnement. La formulation de ce modèle est le résultat de deux processus convergents : d'une part, la recherche dans la littérature de l'état de l'art des modèles explicites et implicites de SG *design* (la synthèse des approches théoriques existantes) et, de l'autre, la reconstitution du processus mis en œuvre lors de la conception de LabQuest (*bottom-up* de la pratique à la théorisation).

Le processus se déroule en 5 phases :

Phase 1 - Après avoir écouté et compris les besoins du client, la première phase nécessaire à la conception d'un SG consiste en la constitution d'un inventaire des contenus pédagogiques visés par l'apprentissage. Dans ce but, le PGD doit s'immerger dans le domaine de compétence qui est susceptible d'être scénarisé dans le SG et en devenir presque un expert. L'une des méthodes disponibles à cette fin est celle que nous avons présentée dans le paragraphe dédié à

l'ingénierie pédagogique (*instructional design*) : la *User-Centered Design*. Dans le but d'identifier les contenus pédagogiques, le PGD réalise une analyse du domaine de référence, des connaissances et des compétences, en lisant les manuels, en observant l'activité des apprenants, en interviewant les enseignants ou en observant des séances de formation. Comme nous pouvons le voir dans le modèle (*cf.* figure 11, p. 150), le PGD prend les informations nécessaires fournies (par des experts, enseignants, apprenants et par l'intermédiaire de documents écrits) afin de recueillir et de réaliser tous les contenus pédagogiques explicites nécessaires à l'apprentissage. L'utilisateur futur (dans ce cas de l'apprenant) constitue une figure dans centrale de la conception, qui se fait à partir de ses perceptions et de ses expériences. Nous avons évoqué antérieurement la UCD et la UX, comme méthodes pour rendre explicites les points de vues des utilisateurs. Dans le modèle PEGADE, nous pouvons observer que les personnes concernées par cette première phase sont en quelque sorte intégrées dans le processus tout en étant détachées de l'équipe-noyau. Le PGD peut cependant exiger leur expertise à tout moment du processus. En termes de conflit instrumental/adaptation instrumentale, on peut dire que, dans cette première phase le PGD doit rendre explicites tous les artefacts didactiques qui sont susceptibles d'être enseignés/appris dans le dispositif.

Phase 2 - Le choix des contenus pédagogiques doit être réalisé en tenant compte des souhaits et des exigences (et/ou limites) technologiques requises par le client. Dans ce contexte, sur la base du type de contenus pédagogiques à simuler, le PGD doit décider sur quel modèle d'apprentissage le SG doit se reposer et quels mécanismes de jeux sont les plus adaptés dans ce but. Il travaille ensuite en collaboration avec l'expert technique en vue de définir les technologies les mieux adaptées. C'est à ce niveau que certaines stratégies de scénarisation, sous la forme de petites *scénettes*, sont préconisées et qu'il est impératif que le choix définitif des contenus pédagogiques qui doivent être intégrés dans les SG soit réalisé. En parallèle, l'expert technique commence à définir l'architecture technique sur laquelle le SG constituera ses fondements: le réseau technique des serveurs, le stockage des données, l'accès et la connexion au logiciel, *etc.* En termes d'adaptation instrumentale, le PGD doit déjà, pour chaque objectif pédagogique, imaginer comment cela pourrait être scénarisé et traduit en choix technique. A cette étape de la conception, il n'est pas encore indispensable que les choix du scénario soient complètement cohérents les uns avec les autres ; il s'agit plutôt d'évoquer des idées les plus variées possible afin d'explorer toute possibilité.

Phase 3 - Une troisième phase consiste à concevoir le scénario global (le *storyboard*) en fonction des conditions suivantes :

- 3.1. l'environnement d'apprentissage doit être adapté pour favoriser le processus d'apprentissage ;

- 3.2. le scénario doit inclure tous les objectifs pédagogiques qui ont été choisis pour l'apprentissage ;
- 3.3. les contenus pédagogiques doivent être simulés sans couper le déroulement du *storyboard* et de la narration ;
- 3.4. le scénario doit être le plus naturaliste possible dans une optique *d'instructional design* efficace (voir chapitre précédent).

Le PGD conçoit le scénario, qui doit à son tour être approuvé par l'équipe technique. En fait, il peut s'avérer que le choix réalisé par le PGD ne soit pas techniquement simple à programmer, ou trop cher en fonction des exigences du client. Lorsque le *storyboard* est écrit et approuvé, toutes les tâches peuvent être redistribuées vers l'équipe technique : le graphiste (et le *screen designer* dans le meilleur des cas) réalise d'abord des maquettes du jeu, ses objets et les environnements *etc*, puis les développeurs programment l'environnement virtuel. Dans le cas de LabQuest, c'est le PGD qui s'est occupé de réaliser les *screen design* ainsi qu'à dessiner les maquettes des *Points of Interest* (POI)³² intégrés dans l'environnement virtuel (*cf.* chapitre 6.7). Le modèle de l'adaptation instrumentale est ici opérationnalisé afin de constituer un scénario cohérent et en ligne avec tous les objectifs pédagogiques que l'on a identifiés.

Phase 4 - Dans la quatrième phase, un algorithme de score doit être développé selon un système de priorisation/hierarchisation des tâches (par exemple selon leur degré de risque de dangerosité) caractérisant les connaissances et les compétences. Par exemple, dans le cadre de l'apprentissage de la conduite routière, il est plus important de s'assurer qu'il n'y a pas de piétons sur la route que d'allumer les phares aux heures où l'éclairage n'est pas nécessaire. D'autres facteurs peuvent être pris en considération : le temps écoulé, le nombre d'hésitations et les progrès dans la performance. Ces facteurs doivent être conçus par le PGD en fonction de l'analyse réalisée durant la phase 1 et approuvés par l'expert technique qui en évalue la faisabilité et les coûts. C'est seulement par la suite que l'expert technique devra se soucier de les adresser aux programmeurs et d'en coordonner leur développement. En effet, les erreurs doivent être tracées dans l'environnement et il est question de leur attribuer une note qui contribuera à la constitution du score final. Dans cette phase, une figure artistique peut être appelée à améliorer la *gamification*. L'adaptation instrumentale est ici nécessaire pour mettre au point une évaluation qui soit effectivement pertinente et viser les objectifs pédagogiques. Au contraire, il est impératif que le concepteur s'assure que le système ne détecte pas une erreur qui serait du, par exemple, à la mauvaise compréhension de l'interface ou des préconisations techniques.

³² En traduction française : points d'intérêt.

Phase 5 – La dernière phase consiste dans la réalisation de l'interface homme-machine. Elle inclut toutes les options nécessaires à l'interaction avec les objets, l'environnement et l'avatar. L'interface doit être conçue en respectant les critères d'intuitivité et de simplicité afin de réduire les difficultés d'utilisation du SG. A l'issue de cette phase, des tests d'utilisabilité doivent être effectués afin d'améliorer l'ergonomie du SG (Lewis & Wharton, 1997; Morcillo *et al.*, 2003). Une détection des incohérences ou des bugs est souhaitable lors de cette phase afin de permettre leur résolution. Cette amélioration peut nécessiter plusieurs cycles de test avant que le SG puisse être commercialisé. En termes d'adaptation instrumentale, dans cette étape l'équipe travaille sur l'artefact technique afin de le rendre plus naturel et transparent possible. D'ailleurs, tout élément qui pourrait causer une hésitation ou une incompréhension de la part de l'utilisateur doit trouver sa résolution.

Dans ce modèle, le client est inclus dans au moins deux moments-clés de la production. A cette étape, l'objectif est de présenter l'avancement du projet et d'approuver ou encore, de régler les différents aspects du produit qui diffèrent des exigences formulées par le client. Dans la figure 11 ci-contre, nous proposons une représentation schématique du processus PEGADE. Nous avons choisi de la réaliser en langue anglaise dans la perspective d'une publication ultérieure.

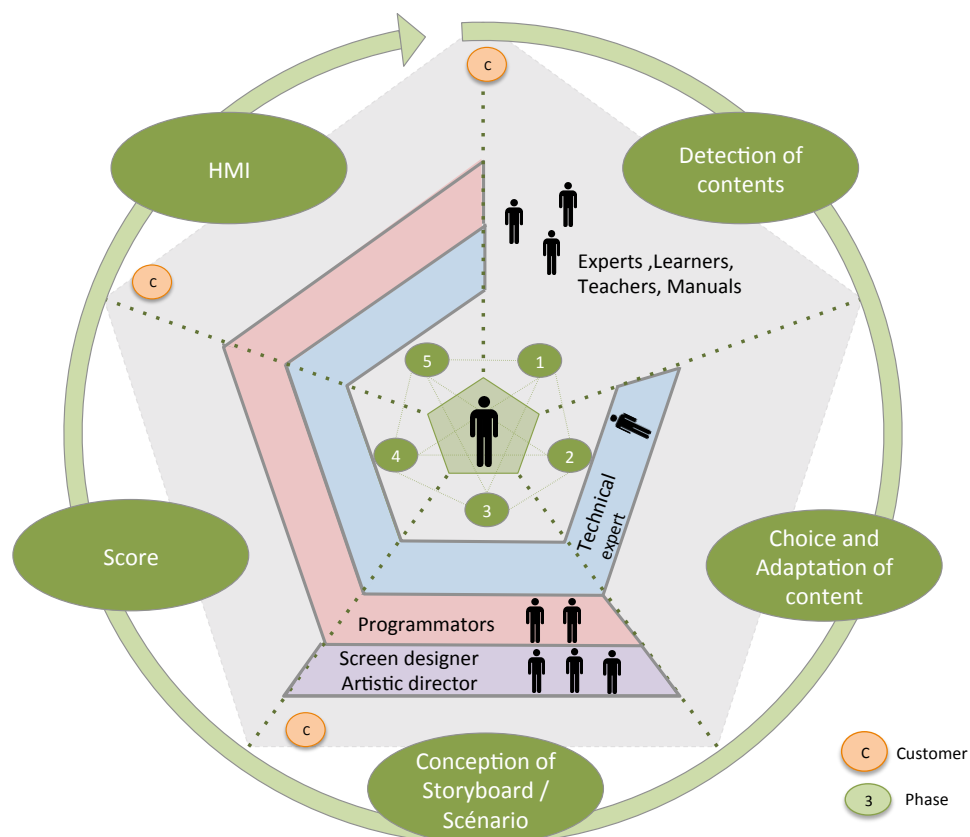


Figure 11 : Modèle de conception de serious games PEGADE

Le tableau 14 présente de manière schématisée les phases de la conception et du développement d'un SG, ainsi que les tâches qui doivent être abouties par les respectives figures professionnelles.

Phase	Objectif	Méthode	Figure Professionnelle	Activité
Détection des contenus pédagogiques	Détection des contenus pédagogiques nécessaires à l'apprentissage	Une analyse de toutes les informations disponibles doit être réalisée dans le but de mettre en évidence les facteurs d'apprentissages fondamentaux	PGD	Analyse
				Observation ; entretiens avec des apprenants, enseignants, experts ; lecture des manuels.
Choix et adaptation des contenus	Choix des contenus pédagogiques qui doivent être intégrés dans le SG ; Conception des stratégies possibles de simulation	Une ingénierie pédagogique fine doit être réalisée afin de choisir les contenus pédagogiques les plus adaptés et de concevoir des stratégies de simulation pertinentes et efficaces.	PGD	Création des scénettes – adaptation des artefacts
			Expert technique	Consultation + approbation
Conception du scénario	Conception et écriture du scénario. Réalisation des décors, objets, sons <i>etc.</i>	Le scénario doit être entièrement écrit et développé. Les dessins et les maquettes sont réalisés et approuvés avant que toute démarche technique soit entamée.	PGD	Conception /écriture du scénario global
			Expert technique	Approbation du scénario + direction de l'équipe technique
			Designer graphique	Réalisation graphique des objets/ textures/ environnements
			Développeurs	Codage des animations
Score	Conception de l'algorithme de score, traçabilité des erreurs, <i>gamification</i>	Les erreurs et les <i>feedbacks</i> doivent être tracés dans le système et déclencher le <i>scoring</i> . Chaque action est donc codifiée dans le système.	PGD	Conception /analyse du score
			Expert technique	Conception de l'algorithme + Direction de l'équipe
			Développeurs	Codage
IHM	Conception et implémentation de l'interface homme-machine (IHM). Résolution des bugs	L'IHM doit être réalisé dans une optique de simplicité et d'intuitivité. Cette phase inclut la conception d'un tutoriel qui apprend à l'utilisateur à manipuler l'interface	PGD	Proposition IHM
			Expert technique	Approbation/conseil
			Développeurs	Codage des interactions

Tableau 14 : Acteurs et missions pour la conception de serious games selon le modèle PEGADE

6.4. Les phases de conception de LabQuest

Nous présentons ici les détails de la démarche que nous avons adoptée pour la conception de LabQuest (Denami & Marquet, 2015). On pourra sans doute nous reprocher de ne pas avoir utilisé un modèle déjà existant, mais, après un état de l'art de la littérature disponible (francophone et anglophone) sur les modèles de conceptions de SGs, nous avons remarqué que

les méthodologies en usage n'étaient pas assez développées du fait que les SGs étaient encore des dispositifs trop récents, polymorphes et peu codifiés. Leur développement est entrepris par des sociétés reconverties, dont le savoir-faire relève de la conception de jeux vidéo, ou utilisent des modèles de conception qu'elles préfèrent maintenir secrets pour protéger leur expertise sur le marché. Pour toutes ces raisons, l'aspect pédagogique n'est ni assez développé par ces sociétés, ni assez explicité. Nous avons toutefois pu déceler que ces entreprises confiaient la conception pédagogique à des experts du milieu qui, en revanche, n'avaient pas de connaissances concernant les solutions techniques et les stratégies de scénarisation susceptibles d'être envisagées pour la réalisation du *storyboard*. D'où notre proposition de pouvoir disposer d'un PGD comme figure professionnelle de communication interne et de coordination.

Dans ce chapitre, nous proposons de décrire :

- les cinq étapes de conception du SG LabQuest selon le modèle PEGADE ;
- l'organisation et l'architecture des contenus pédagogiques intégrés dans le dispositif d'évaluation (les gestes professionnels, les indicateurs de performance, l'algorithme de score, le tableau de bord) ;
- l'organisation et l'architecture des contenus pédagogiques intégrés dans le dispositif de formation (les POIs, les contenus pédagogiques, les scénarios de formation) ;
- la méthodologie destinée à la réalisation d'un guide d'utilisation de LQ, dans le but d'expliquer les aspects fondamentaux du logiciel, et dédié à l'exploitation et à la prise en main de l'outil par le personnel formateur censé s'en servir.

Tout au long de cette présentation méthodologique, nous allons expliquer comment les approches théoriques ont influencé et participé à la définition et à la conception du SG.

6.4.1. Phase 1 : Identification des contenus pédagogiques

La constitution de tout dispositif de formation exige une connaissance approfondie du métier et des activités susceptibles d'être intégrées dans l'outil d'apprentissage. C'est aussi le cas de la formation et de l'évaluation des compétences des personnels travaillant dans une entreprise pharmaceutique. A ce titre, l'analyse de tout élément composant la réalité de travail est indispensable pour dresser un diagnostic des contenus pédagogiques fondamentaux qui doivent être intégrés, afin que l'apprentissage soit non seulement possible mais aussi adapté et efficace.

L'identification des contenus faisant l'objet de l'apprentissage a été possible grâce à l'analyse de l'activité de travail (que nous avons présentée dans le chapitre 3.2), opérationnalisée à travers une approche centrée sur l'apprenant. En effet, cette méthode a été utilisée pour la UCD dans le but d'identifier les aspects plus sensibles qui doivent faire l'objet

d'intégration dans le dispositif. Comme nous l'avons montré dans le tableau 15, pour identifier ces objectifs, une méthodologie d'observation et d'analyse des composantes du travail a été réalisée. Nous avons pris en considération les différents angles de vue : la norme, la tâche prescrite, la tâche effective et les conditions réelles de l'environnement. Cette analyse a été effectuée en prenant comme échantillon trois entreprises pharmaceutiques de tailles différentes produisant des médicaments hétérogènes.

Analyse de l'activité	
Norme	Les manuels décrivant les pratiques de fabrication des médicaments, ainsi que les normes ISO européennes, ont été analysés de façon à dresser un inventaire des règles qui dirigent le travail en zone aseptique.
Tâche prescrite	La tâche prescrite est définie à partir des entretiens réalisés auprès des personnels <i>leader</i> des usines pharmaceutiques produisant en milieu aseptique. De plus, des entretiens formels et non formels ont été menés avec les responsables de formations.
Tâche réalisée	Les personnels travaillant en zone aseptique ont été observés pendant leur activité de travail afin de comprendre quelles étaient les déviations de l'activité effective par rapport aux normes prescrites.
Tâche perçue	Des entretiens auprès des personnels de production travaillant en zone aseptique ont été menés afin de mettre en évidence les représentations que l'opérateur a de son activité de travail. Nous avons particulièrement prêté attention aux expériences du quotidien, aux ressentis personnels, aux contraintes perçues dans la quotidienneté du travail.
Conditions de travail	Les conditions de travail telles que la longueur des pauses, les contraintes d'habillage (masque, lunettes, gants et tout autre dispositif de protection individuelle et de lutte contre les contaminations), les créneaux horaires, la température et la lumière artificielle sont prises en considération et analysées de façon à comprendre si ces éléments participent aux déviations entre la tâche prescrite et l'activité réelle.

Tableau 15: Analyse de l'activité pour une UCD

Dans cette perspective, le travail peut être décrit comme un processus résultant de l'influence des éléments qui rendent l'activité réelle.

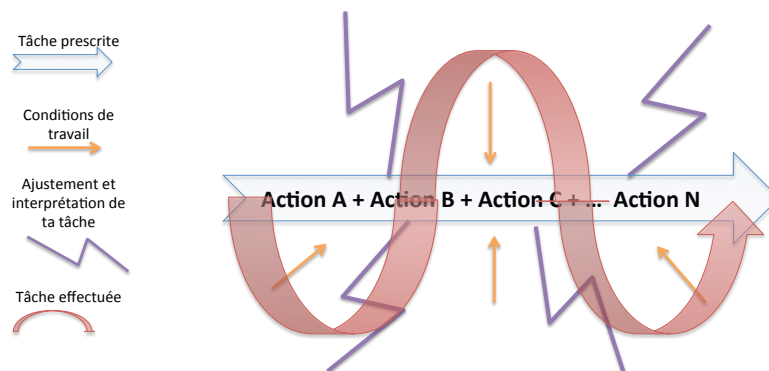


Figure 12 : Les facteurs constitutifs de l'activité de travail

La figure 12 montre que le travail est un système complexe d'actions qui visent un objectif et de phénomènes qui viennent s'y interférer. Ces actions à accomplir sont souvent standardisées et encadrées par des protocoles et des directives hiérarchiques. Ces procédures sont composées de tâches soigneusement décrites qui laissent non peu rarement filtrer des informations implicites. Pour réaliser cette tâche, le travailleur est immergé dans un environnement qui, de son côté, présente des contraintes et des imprévus qui ne sont pas pris en

considération dans la procédure prescrite. Pour combler ces écarts, il doit faire face à ces informations complémentaires, réaliser des interprétations (de l'implicite) et résoudre les problèmes liés aux conditions de travail auxquels il est confronté dans la réalité du terrain. Les réponses apportées et les variations de comportement exprimées constituent les vecteurs d'activité qui modulent le système dans sa totalité.

L'analyse de l'activité a été utilisée présentement pour décrypter finement les connaissances et surtout les compétences susceptibles d'être acquises pour le travail en zone aseptique. La totalité des informations disponibles sur les activités dédiées à la production de médicaments en milieu pharmaceutique nous a permis d'élaborer une liste de plus de deux cent indicateurs décrivant en détail les procédures communes aux différentes entreprises.

Les écarts diagnostiqués entre la tâche prescrite et la tâche réelle, ainsi que les contraintes liées à l'environnement de travail, dérivent d'une comparaison entre les tâches prescrites, les normes et les points de vue des différents acteurs au sein de l'entreprise, incluant les représentations des opérateurs. C'est notamment à partir de ces déviations que nous nous sommes interrogés sur la nature du contenu pédagogique susceptible d'être scénarisé afin d'aboutir à un apprentissage efficace. Par exemple, nous avons observé qu'un nombre important d'opérateurs transportaient avec eux des objets tel que le téléphone portable de l'entreprise de la classe B (moins propre) à la classe A (plus propre). Or, dans la plupart des entreprises, l'usage du téléphone portable est interdit dans la classe A à cause du nombre de manipulations réalisées avec l'objet et le nombre conséquent de microbes et particules qui peuvent être transportés avec ce dernier. Cependant, lors d'une intervention de maintenance sur la machine, l'opérateur pourrait être obligé de pénétrer dans la classe A et de parler en même temps au téléphone avec le technicien qui le guide dans la manipulation. Des cas analogues ont été traités dans LabQuest. Des contenus sont présentés à la personne au sein de l'environnement de manière à ce qu'elle se trouve face à des problèmes à résoudre. Les modalités de pénétration des personnels dans la zone ainsi que la manière dont les objets doivent y être introduits sont expliqués à l'aide de schémas. Ils peuvent ensuite être reproduits dans l'environnement.

Devant la multitude des informations que nous avons pu récupérer lors de l'analyse du travail, il a été indispensable de réaliser une classification des connaissances et des compétences qui complètent l'inventaire des activités de production. En effet, nous avons remarqué que les activités en entreprise sont organisées en un nombre défini de *gestes professionnels* dédiés à l'exécution d'une tâche bien définie. Comme nous l'avons annoncé avec la didactique professionnelle, le geste professionnel est défini comme l'ensemble des savoir-faire, des connaissances théoriques, mais aussi des aptitudes personnelles sans lesquelles il serait

impossible de pouvoir travailler dans un environnement aussi contraignant. Pour ces raisons, pour chaque geste professionnel a été défini :

- le savoir théorique, c'est-à-dire les règles ou les concepts qui indiquent quelle est la situation optimale pour aboutir à ce geste ;
- la connaissance procédurale, c'est-à-dire l'ensemble des savoirs que le travailleur possède par rapport aux pratiques à suivre pour réaliser le geste ;
- pour certains cas, le savoir-être. En effet, pour des gestes professionnels spécifiques, des traits de personnalités pourraient être nécessaires et même indispensables à l'accomplissement de certains objectifs. Ces traits pourraient être fondamentaux pour l'accomplissement final du geste. Par exemple, une personne ayant tendance à être claustrophobe ne sera pas en mesure de réaliser une journée de travail de 7h30.

A ces trois éléments, nous avons ajouté des informations liées à l'optimisation du geste professionnel notamment *les indicateurs de performance* qui, pour chaque geste professionnel, certifient son exécution correcte et donc, une application des normes sous-jacentes : il s'agit de la liste de toutes les actions nécessaires à l'aboutissement d'un geste professionnel.

C'est notamment sur le geste professionnel que nous portons l'attention dans cette thèse et sur sa performance de réalisation, compte tenu de l'impossibilité de mesurer les compétences et en accord avec la littérature proposée dans la partie théorique de notre travail.

L'explicitation des objectifs pédagogiques a permis de mettre en évidence les buts de la formation qui doivent être traités dans la simulation.

Le tableau 16 donne un extrait de l'analyse des gestes professionnels de l'habillage, que nous avons réalisé.

Savoir(s) théorique(s)	Savoir faire, connaissances procédurales	Savoir-être	Indicateurs	Objectifs pédagogiques
Existence de différentes classes de contamination A, B, C, D. Chaque classe demande un habillage plus ou moins sévère respectant le niveau de dangerosité des substances produites.	Exécution des étapes de la procédure d'habillage et de déshabillage dans un ordre correct (y compris l'enlèvement de la tenue de ville pour adopter la tenue de ZAC)	Résistance au sentiment d'anxiété de prestation, frustration liée à l'empêchement des mouvements Conscience corporelle (finesse des gestes)	Dans le 1^{er} SAS classe D Enlever la blouse et les habits de ville, rester en sous-vêtements Enlever les bijoux Garder la charlotte sur la tête Se laver les mains avec du savon	Acquisition de la connaissance de l'ordre dans lequel les éléments de la tenue doivent être endossés Intégration de la règle "s'habiller du haut vers le bas"
A-B : cheveux-barbe, moustache enfermés dans une cagoule// cagoule reprise dans le col de la veste//masque sur le visage pour éviter	Exécution des étapes de la procédure d'habillage dans le bon endroit en lien avec les zones proposées (y	Adaptabilité à la tâche, patience.	Sécher les mains avec du papier Endosser le haut du pyjama usiné	Intégration de la règle "se laver le main à chaque étape de l'habillage" Intégration de la

l'émission de gouttelettes//gants de caoutchouc stérilisés non poudrés//bottes stérilisées et désinfectées//bas des pantalons enserrés dans les bottes//manches enserrées dans les gants//	compris l'enlèvement de la tenue de ville pour adopter la tenue de ZAC)	Endosser le bas du pyjama usine	règle "ne pas toucher l'extérieur de la tenue"
C : cheveux, moustaches et barbe couverts//vêtements serrés aux poignets et col montant// chaussures et sur-chaussures// vêtements qui ne doivent pas libérer de fibres.	Respect de la procédure de désinfection des mains au bon moment	Endosser les chaussures usine	Intégration de la règle " ne pas toucher les surfaces de l'environnement"
D : cheveux, barbe et moustache couverts// vêtements protecteurs// chaussures et sur-chaussures.	Respect des bons gestes d'habillage (ne pas toucher l'extérieur de la tenue ; comment et quand il est possible de franchir le marquage au sol ; comment endosser les gants ; éviter l'auto-contact et le contact avec les autres surfaces)	Désinfecter les mains	
Aucune impureté ne doit s'introduire dans la salle.	Distinction des procédures de destruction ou tri des déchets (papier, déshabillage ; tri des composantes jetables et réutilisables - après stérilisation - de la tenue)	Franchir le marquage au sol pour entrer dans la partie propre du vestiaire	
L'ordre d'habillage est très important.		Ne jamais retourner en arrière après avoir franchi le marquage au sol, actionner l'ouverture de la porte	
Il existe 3 sas d'habillage, chacun d'entre eux est dédié à une partie spécifique des opérations à effectuer (voir fiche d'habillage et de déshabillage).	Respect de la règle « du sale vers le propre » (par exemple ne pas revenir en zone « sale » lorsque l'on est en zone « propre » du sas)	Dans le 2^{ème} SAS classe C Prendre un sachet contenant des gants (dans une niche ouverte)	
		Mettre la première paire de gants	
		Se désinfecter les mains avec les gants (éventuellement)	
		Prendre le sachet de la cagoule, et la mettre	
		Se désinfecter les gants avec la solution hydro-alcoolique	
		Prendre le sachet de la combinaison et la mettre	
		Se désinfecter les gants avec la solution hydro-alcoolique	
		Franchir le marquage au sol et passer dans la zone "propre" du sas	
		Ne jamais retourner en arrière après avoir franchi le marquage au sol, actionner l'ouverture de la porte	
		Dans le 3^{ème} SAS classe C Prendre les sur-chaussures (ou sur-bottes) sur l'étagère, désinfecter le banc	
		Mettre les sur-chaussures correctement	
		Ne jamais retourner en arrière après avoir franchi	

	le banc
	Se laver les mains avec la première paire de gants avec la solution hydro-alcoolique
	Saisir le masque de vision dans l'armoire Endosser le masque de vision
	Saisir dans l'armoire le sachet avec la deuxième paire de gants
	Endosser une deuxième paire de gants sur la première paire
	Se désinfecter les mains avec les deux paires de gants avec la solution hydro-alcoolique
	Actionner l'ouverture de la porte

Tableau 16 : *L'analyse du geste professionnel « habillage »*

6.4.1.1. Le profil des utilisateurs-types de LabQuest : les *Personas*

Lors de la conception de LabQuest, nous avons dû orienter les choix de façon à répondre aux exigences des futurs utilisateurs. Dans cette optique, nous avons dû détailler le profil de chaque utilisateur type qui était censé, pour une raison ou l'autre, utiliser LabQuest. Le processus n'a pas été linéaire, surtout parce que le concept de « *personas* » n'avait pas été emprunté de façon univoque lors de la conception du logiciel. Cependant, de manière plus ou moins explicite, nous avons réussi à définir le profil de l'utilisateur-type du logiciel. Il faut remarquer qu'au tout début, nous avons pris en considération les besoins des profils hiérarchiques les plus élevés (identifiés par le président de la société WhiteQuest) et les contraintes des utilisateurs primaires : les employés. Mais, dès les premières phases de conception, nous avons identifié que les formateurs jouaient un rôle essentiel non seulement pour l'adoption du produit mais également pour l'amélioration et la pertinence de sa conception.

LabQuest Evaluation : cette fonctionnalité du logiciel a pour objectif de réaliser une cartographie à 360° des compétences de l'utilisateur. L'utilisateur-type est un candidat, novice ou expérimenté du travail en zone aseptique qui, à l'occasion de l'entretien d'embauche ou lors d'une requalification après une période d'arrêt d'activité, doit être reformé sur des aspects spécifiques de son travail. Dans ce sens, l'exploration de l'environnement virtuel LQ pourrait être utile à l'identification des points critiques ou des lacunes chez le travailleur. L'utilisateur secondaire de cette fonctionnalité du logiciel est le formateur ou le responsable RH qui veut

évaluer le niveau de compétence réelle du candidat. En effet, une mise en situation réaliste serait plus pertinente par rapport à une simple lecture du CV, car elle pourrait déclencher un échange sur des décisions ou des comportements qui ont été réalisés lors de la simulation. Le formateur ou le responsable RH peut décider soit d'observer le candidat en train d'explorer l'environnement 3D ou, au contraire, de le laisser réaliser l'évaluation en autonomie et n'engager un échange sur les résultats que dans un deuxième temps.

LabQuest Formation : cette fonctionnalité du logiciel a pour objectif de former (même en auto-formation) le personnel travaillant en entreprise pharmaceutique. L'utilisateur-type est un nouveau candidat ou un opérateur travaillant déjà dans l'entreprise mais qui se trouve devoir être mis en arrêt d'activité pendant 2-3 heures à cause d'une panne de machine ou d'une intervention en zone. Là encore, il pourrait s'agir d'une formation *ad hoc* qui a été mise en place pour remettre à niveau certaines connaissances ou compétences de l'employé. Le formateur peut décider d'administrer la formation à l'employé en autonomie ou d'échanger en même temps sur les actions qui sont mises en œuvre par l'utilisateur.

Bien que nous ayons une idée précise des utilisateurs-types potentiels de LabQuest, les tests utilisateurs ont mis en évidence certains problèmes d'utilisation que nous n'avions pas pu anticiper lors de la description des *personas*, d'où la nécessité, l'importance et l'avantage d'utiliser et de mixer les différentes méthodologies. En effet, pendant l'utilisation et les échanges avec les opérateurs et les formateurs des entreprises pharmaceutiques *beta*-testeurs du logiciel, nous nous sommes aperçus que d'autres problèmes pouvaient être liés aux freins à l'utilisation du SG et mis en exergue ceux qui pouvaient ne pas trouver de solution lors de l'utilisation.

LabQuest Evaluation : étant donné que toutes les entreprises n'emploient pas les mêmes procédures (habillage, traitement des déchets, déshabillage, *etc.*) l'évaluation ne peut pas être standardisée. Pour cette raison, nous avons dû mettre en œuvre un système de « décochage » - paramétrage - des erreurs qui ne sont pas considérées chacune d'entre-elles comme fausses. Par ailleurs, nous avons compris que l'évaluation est - implicitement - mal considérée de la part des figures professionnelles « relais », c'est-à-dire celles qui cumulent en même temps les fonctions de chef d'équipe, de formation mais aussi de production. Cette évaluation est perçue comme une contrainte bien davantage que comme une opportunité, car elle reste sauvegardée dans l'historique du développement de l'entreprise. Les tests d'utilisabilité que nous avons réalisés montrent qu'une attitude constante de « justification » des comportements est mise en œuvre pendant l'exploration de l'environnement 3D. Pour ce problème, nous n'avons pas de solution à proposer, mais il ne concernait pas l'ensemble des entreprises utilisatrices de LabQuest. C'est pourquoi nous nous sommes limités à proposer aux usines qui n'étaient pas « favorable » à cette solution, d'adopter le seul module de formation.

LabQuest Formation : certains formateurs ont perçu LabQuest Formation comme une menace pour la sécurité de leur poste de travail. Nous soutenons, au contraire, que le rôle du formateur est fondamental pour l'animation des formations en groupe. De façon générale, nous avons observé que les formateurs opposent quelques résistances aux changements, surtout si ces derniers leur demandent d'acquérir une technologie nouvelle après plusieurs années d'activité « qui n'a jamais posé de problème ». C'est pourquoi, WhiteQuest a développé une méthode de fiabilisation des formateurs en proposant des formations sur site (en situation réelle avec des opérateurs) qui montrent précisément comment se servir du logiciel et un « cahier d'exercices pédagogiques » qui peut être utilisé pour l'animation de leurs formations ultérieures en interne. Après intervention de WhiteQuest, dans la plupart des cas, les clients (formateurs et employés) se montrent convaincus de l'efficacité pédagogique du SG et en adoptent le principe. Toutefois, formateurs et employés se plaignent des différences qui existent entre l'univers LabQuest et leurs environnements habituels. Bien qu'ils comprennent le principe de « l'exercice » qui vise à l'application des règles fondamentales de production et des bonnes pratiques de fabrication, les utilisateurs font systématiquement la remarque concernant les différences entre l'environnement virtuel et le leur, lorsqu'ils explorent le logiciel. Pour répondre à leur objection nous tentons d'expliquer l'importance de la différenciation des espaces afin d'éviter une reproduction à l'identique des procédures qui laisserait moins de place à la réflexion et aux échanges entre les apprenants.

Nous venons d'énoncer quelques-uns des problèmes que nous avons décelés lors de nos premières études d'utilisation du logiciel « sur site ». De façon générale, le module « formation » a été bien accueilli par la presque totalité des usines qui ont opté pour la solution LabQuest qui, de plus, a rencontré moins de problèmes d'implémentation dans la pratique quotidienne des formations en entreprise.

Ainsi, nous pouvons affirmer que l'utilisation des *personas* lors de la conception du logiciel nous a permis de délinéer et de mettre en évidence les profils des utilisateurs-types susceptibles d'utiliser le produit. Néanmoins, comme nous l'avons affirmé dans le modèle de conception, nous soutenons l'importance de co-crée et de réaliser des tests d'expériences utilisateurs tout au long de la conception, pour rendre le produit le mieux adapté à leurs besoins immédiats, mais pouvant aussi bénéficier à des utilisateurs secondaires.

6.4.2. Phase 2 : le choix et l'adaptation des indicateurs pour LabQuest

Afin de réaliser le choix des contenus pédagogiques susceptibles d'être intégrés dans l'outil de simulation, nous avons opérationnalisé le modèle du conflit instrumental, longuement développé dans la partie théorique de notre recherche. En effet et au même titre que d'autres

dispositifs de formation, pour qu'un SG soit efficace en termes d'apprentissage, il doit rendre compatible entre eux les trois artefacts qui le composent. Dans le cas de LabQuest, ces artefacts sont les suivants :

- 1) artefacts didactiques : l'ensemble des règles et des normes sous-jacentes aux procédures dans le cadre du travail en zone aseptique (concepts de : désinfection, flux de matière, flux de personne, traitement des déchets *etc*) ;
- 2) artefacts pédagogiques : la façon dont les artefacts didactiques sont présentés et représentés (le scénario de simulation : les sas d'habillage, les objets qui peuvent être activés dans l'environnement, les contenus pédagogiques « repères » *cf.* figure 8, p.141) ;
- 3) artefacts techniques : l'ensemble des dispositifs et des techniques constituant le logiciel de simulation (le logiciel, les éléments *hardware*, l'IHM).

Une fois listées toutes les procédures existantes, notre objectif a été de mettre en évidence les procédures-clés et fondamentales qui doivent être intégrées. L'exercice a donc consisté à choisir les gestes professionnels communs à toutes les entreprises et à en décrire les caractéristiques standard qui pourraient être adaptées à l'ensemble. A ce niveau de la conception, l'objectif est de créer un scénario (*storyboard*) qui inclut les contenus pédagogiques les plus adaptés, qui sont aussi scénarisés à l'aide de mécanismes de jeu et d'apprentissage. Tous les éléments traités dans le chapitre concernant PEGADE doivent être pris en considération au cours de cette phase.

Le choix et l'adaptation de ces contenus pédagogiques (et dans ce cas spécifique, les gestes professionnels) suivent donc un double processus : s'il faut, d'une part, intégrer les exigences de l'acquisition de connaissance dans la réalité de l'entreprise, il convient, de l'autre, d'adapter les contenus aux techniques choisies. De ce fait, en nous appuyant sur le concept de conflit instrumental, le choix des indicateurs a été fait dans le but d'adapter l'objectif pédagogique (artefact didactique) à l'outil technique (la simulation) au travers de la scénarisation de ce dernier (artefact pédagogique). Par exemple, le geste professionnel « procédure d'habillage » inclut plusieurs indicateurs qui décrivent la manière dont la tenue complète doit être passée et portée lors de l'entrée en zone de production. De plus, la nécessité de traiter les différents aspects de ce geste nous a conduit à l'évaluer au sein de deux phases de jeu distinctes, l'une à la première personne (traitant le sujet de la seule procédure d'habillage en terme chronologique « je mets d'abord ceci et puis cela »), et l'autre à la troisième personne (*cf.* figure 13) qui permet d'observer la qualité d'exécution de chaque geste (j'observe que la personne « autre » ne touche pas la combinaison).

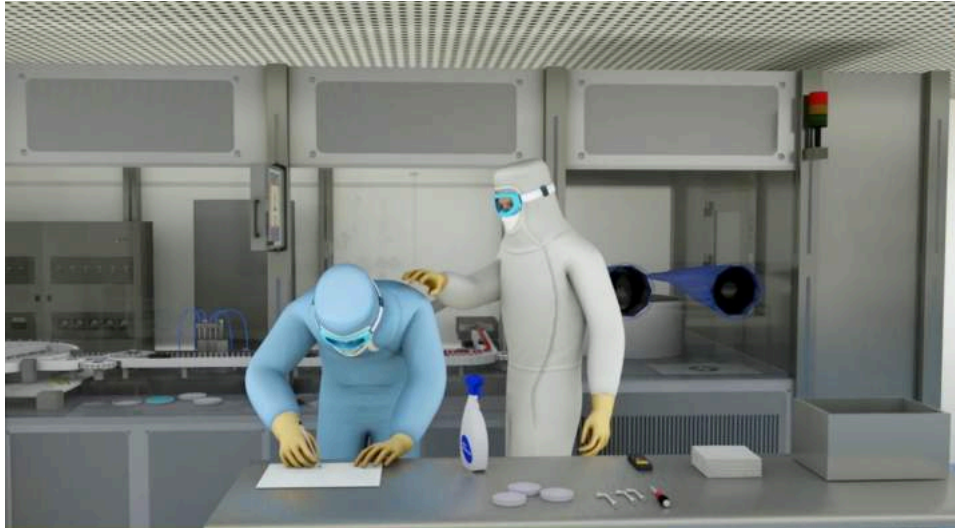


Figure 13 : Capture d'écran de la vidéo à la troisième personne. Deux opérateurs réalisent un contact

6.4.3. Phase 3 : La conception du scénario pédagogique

Le scénario pédagogique est l'histoire à l'intérieur de laquelle tous les contenus pédagogiques, collectés et sélectionnés lors des deux phases précédemment décrites (phases 1 et 2), sont harmonisés afin de rendre l'environnement le plus adapté possible à la compréhension et à l'acquisition des connaissances et des compétences. Dans le cas de LabQuest, la conception du scénario a été réalisée en fonction des besoins suivants :

- 1) reproduire le déroulement d'une journée-type de production en définissant les étapes fondamentales et communes à toute entreprise (ces informations ont été recueillies et sélectionnées lors des deux étapes précédentes) ;
- 2) intégrer les règles, les normes et les gestes communs à l'ensemble des entreprises-cibles ;
- 3) reproduire un environnement « type » dont l'architecture est commune à l'ensemble des entreprises-cibles ; et,
- 4) intégrer les pratiques professionnelles communes à ces entreprises.

La conception du plan de l'entreprise virtuelle a fait l'objet de nombreux changements et reconstructions. En effet, sa structure interne doit répondre à la fois aux exigences d'adaptation communes à toutes les usines et aux contenus pédagogiques jugés pertinents d'y être intégrés. Ces changements que nous listons ci-dessous à titre d'exemple, donnent une idée du processus d'adaptation qui se déroule de façon cyclique.

Le plan de l'entreprise a été constitué en intégrant :

1. les normes basiques de sécurité qui font l'objet de manuels de réglementations officielles à validité internationale (BPF). Ces normes imposent des critères très strictes de construction de toute entreprise. Le respect de ces critères est indispensable pour garantir une production optimale et une sécurité pour le produit, pour les travailleurs et pour l'environnement ;

2. la structure des différents plans d'entreprise que nous avons visités pendant la phase d'observation et de documentation. Nous avons pris comme référence trois d'entre-elles qui sont caractérisées par des tailles différentes (un petit laboratoire, une entreprise de dimension modeste et une autre de très grande dimension), et par la différence de dangerosité et de sensibilité des produits fabriqués (médicaments injectables, solutions non injectables, manipulation d'antibiotiques) ;
3. les éléments architecturaux qui permettent d'aborder les contenus pédagogiques que nous avons sélectionnés auparavant dans les étapes d'analyse du travail dédié à la détection des contenus pédagogiques (phase 1) ; et,
4. les éléments facilitant l'exploration de l'usine virtuelle en 3D (icônes, repères, plans). Une analyse attentive de l'ergonomie d'utilisation de l'outil a été réalisée pendant le développement de l'outil.

Voici quatre exemples de choix qui ont été réalisés en vue de concevoir le plan de l'entreprise virtuelle capable d'accueillir, en même temps, les spécificités des entreprises réelles et les contenus d'apprentissages visés.

Exemple n°1 : pour la construction de toute entreprise pharmaceutique, il est indispensable de suivre une réglementation qui prévoit l'intégration d'un système de sécurité très sévère : une douche dans la ZAC en cas de contamination due à des projections du produit, la signalétique en cas d'urgence, le sprinkler³³, la vitre auto-cassante (*etc.*). Nous avons de ce fait intégré les mêmes éléments dans notre environnement virtuel.

Exemple n°2 : concernant la disposition et le classement des sas d'habillage, nous avons choisi d'en intégrer 4 (N.C./D/C/B) de façon à avoir un classement progressif. Cette disposition ne se trouve pas dans toutes les entreprises visitées mais reste idéale. Dans l'entreprise la plus petite, la procédure d'habillage se fait généralement dans deux sas, souvent de classe C et puis de classe B. Notre choix architectural est néanmoins justifié par l'envie de donner une cohérence interne à l'architecture de l'entreprise virtuelle. Nous avons en effet conçu l'ordre et le lieu d'habillage de façon à respecter les différences conceptuelles d'habillage relatives au classement des zones.

Exemple n°3 : la machine que nous avons modélisée est une machine elle aussi « idéale » qui permet de faire une synthèse entre les différentes modalités de production et de les couvrir en totalité. Dans ce but, nous avons choisi de modéliser une machine composée d'un système de recyclage de l'air appelé RABS ouvert³⁴ dans lequel est créé un flux laminaire³⁵. Cette

³³ Un sprinkler est un appareil d'extinction fonctionnant seul en cas de chaleur excessive dans un local ou un site à protéger lors d'un incendie.

³⁴ RABS fermé, RABS ouvert et isolateur sont trois types de dispositifs qui servent à envelopper la machine afin de maintenir l'air au sein d'eux la plus proche de la condition de stérilité.

configuration permet l'accès à la machine grâce à des vitres. Nous avons également choisi un système d'isolateur pour la partie de remplissage des bouchons. L'intégration de ces différents types de machines permet une évaluation complète des compétences des personnels face aux différentes méthodes de production.

Exemple n°4 : des problèmes de visualisation se sont présentés lors de la navigation dans le jeu. En effet, dans la première modélisation du plan de l'entreprise, nous avons respecté les dimensions réelles des sas que l'on peut observer dans les entreprises-cibles. Cependant, cette visualisation s'est avérée peu efficace dans l'environnement virtuel, car elle rendait notamment très difficiles les déplacements de l'avatar ainsi que l'orientation du regard en raison de l'étroitesse des pièces. Par exemple, l'utilisateur ne pouvait pas savoir à quel moment il se trouvait dans les alentours de la ligne jaune, située au sol et qui sépare la partie « sale » de la partie « propre » du sas d'habillage N.C. (cf. figure 14). La solution la plus adaptée a été, par conséquent, d'agrandir la dimension des sas d'habillage, et surtout, de développer les pièces dans la longueur pour avoir une vision globale à l'entrée de celles-ci.



Figure 14 : Le plan de l'usine virtuelle dans LabQuest

D'autres problèmes de l'ordre du choix des décors (artefacts pédagogiques) sont également apparus. Nous les présentons ici à titre d'exemples pour mieux faire comprendre le processus d'adaptation.

Choix des machines : isolateur ou RABS ? Dans les entreprises pharmaceutiques standard, il est très rare d'avoir une machine qui combine RABS ouvert et isolateur. Au même titre qu'il est

³⁵ Flux laminaire : jet d'air ultra-pur et unidirectionnel qui a comme fonction d'éviter la pénétration de particules potentiellement contaminantes par le biais d'une action mécanique.

très rare de trouver une combinaison de machines qui intègre le remplissage aseptique et le bouchonnage sous isolateur. Néanmoins, pour nos exigences de formation et d'évaluation, nous avons créé une machine *ad hoc* afin de permettre une cohérence interne du scénario et des activités que l'apprenant est censé réaliser dans la simulation. De plus, l'intégration de tout type de machine permet une adoption plus vaste du SG au sein de ces entreprises pharmaceutiques. En effet, le RABS ouvert est un système qui permet d'avoir facilement accès à la machine en cas de casse ou de dysfonctionnement (situations prévues dans le scénario) mais qui, en même temps, protège la machine grâce à des vitres. Le flux laminaire (jet d'air constant et ultra pur) évite ensuite aux microparticules de se déposer sur le produit et sur la machine elle-même.

Classement de la ZAC : une ou plusieurs ZAC ? C & B ou A/B ? Pour le classement des espaces dans la salle blanche, nous avons dû faire des compromis entre les différentes réalités observées sur le terrain. Souvent, les entreprises plus riches ont tendance à investir dans des machines complètement étanches enfermées dans des systèmes d'isolateurs. Ces isolateurs permettent d'envelopper et de protéger le produit du début jusqu'à la fin de la procédure de fabrication et sa performance de protection ne nécessite pas autour de lui un environnement complètement stérile : dans ce cas, une ZAC en classe C est suffisante. Cette configuration n'est pas possible dans les entreprises plus petites en raison du coût très élevé des isolateurs. Aussi, pour garantir la protection du produit, on utilise surtout des RABS ouverts combinés avec un flux laminaire de classe A. Le reste de la ZAC nécessite donc une classification en classe B. Selon le principe « qui peut le plus peut le moins », nous avons choisi de recréer dans notre système de simulation la situation idéale et la plus sévère de protection du produit. Notre entreprise virtuelle dispose donc d'une ZAC A/B sous flux laminaire, RABS ouverts et isolateur. De cette façon, tout apprenant qui est censé travailler en toute zone de production sera formé et évalué dans une situation idéale.

Miroirs ou pas ? Le choix d'intégrer des miroirs dans les différentes pièces dédiées à l'habillage a été dicté par la volonté de réalisme du logiciel avec l'environnement réel des entreprises pharmaceutiques. Même si, dans un premier temps, les techniques de développement 3D semblaient être faibles et complexes pour l'intégration des systèmes de réflexion propres des miroirs, des solutions ont été mises en œuvre pour la réalisation de cet élément de décor caractérisant les lieux concernés. Les miroirs sont très utiles pour donner un meilleur réalisme à la simulation et, par conséquent, une meilleure immersion. D'autant de plus que, mieux que dans les entreprises réelles, ils s'avèrent être des outils de contrôle indispensables durant les phases d'habillage.

6.4.4. Phase 4 : L'algorithme de score. L'évolution de la conception

6.4.4.1. Constitution du tableau des indicateurs

Le tableau des indicateurs a été fondamental pour la constitution du scénario et pour la fabrication de l'algorithme de score. En effet, ce tableau nous a permis de gérer les différentes variables qui caractérisent le scénario pédagogique. Il est construit par ordre chronologique en suivant le cheminement que l'avatar doit faire pour accéder à la ZAC. Toute action ou tâche, sous la forme d'« indicateurs de performance », a été numérotée et listée dans une première colonne d'un tableau Excel. Pour chaque indicateur, d'autres colonnes ont été créées, chacune représentant les « 10 gestes professionnels » (kpi_a01... jusqu'à kpi_a10), les deux domaines de « compétences transversales » (kpi_b01 et kpi_b02) et les facteurs de risque (qui a été appelé « *criticality_level* » dans nos documents internes de travail). Chaque indicateur de performance peut appartenir à un ou plusieurs gestes professionnels ainsi qu'à un ou deux domaines de compétences. Le tableau 17 est un exemple qui nous permet d'illustrer ce propos. En ce qui concerne la procédure de désinfection des mains (2-10), on peut remarquer qu'elle se trouve incluse dans la procédure (le geste professionnel) d'habillage. Elle est également inscrite dans la procédure (le geste professionnel) de désinfection des mains tout court, indispensable, par exemple, pendant l'activité en ZAC. Au sein des domaines de compétences, elle est incluse dans l'hygiène et la propreté. Nous pouvons de même étudier l'indicateur 2-31 qui impacte les deux compétences transversales (kpi_b01 et kpi_b02) hygiène/propreté et assurance qualité.

indicator_code	description	criticality_level	imputation_factor	kpi_a01	kpi_a02	kpi_a03	kpi_a04	kpi_a05	kpi_a06	kpi_a07	kpi_a08	kpi_a09	kpi_a10	kpi_b01	kpi_b02
2-6	Sécher les mains avec du papier	3			X									X	X
2-7	Endosser le haut du pyjama d'usine	4			X									X	
2-8	Endosser le bas du pyjama d'usine	4			X									X	
2-9	Endosser les chaussures d'usine	4			X									X	X
2-10	Désinfecter les mains	6			X								X	X	X
2-14	Prendre le sachet contenant les gants (dans une niche ouverte)	4			X									X	
2-15	Endosser la première paire de gants	6			X									X	X
2-16	Nettoyer les mains avec la première paire de gants (éventuellement)	5			X								X	X	X
2-17	Saisir le sachet contenant la cagoule	5			X									X	X
2-18	Endosser la cagoule	5			X									X	X
2-19	Saisir le sachet contenant le masque de chirurgien	5			X									X	X
2-20	Endosser le masque de chirurgien	5			X									X	X
2-21	Désinfecter les mains (avec la première paire de gants) avec la solution hydro-alcoolique	6			X								X	X	X
2-22	Saisir le sachet contenant la combinaison	5			X									X	X
2-23	Endosser la combinaison	5			X									X	X
2-24	Désinfecter les mains (avec la première paire de gants) avec la solution hydro-alcoolique	6			X								X	X	X
2-11	Franchir le marquage au sol pour entrer dans la zone "propre" du sas vestiaire	2		X	X									X	X
2-12	Ne jamais retourner en arrière après avoir franchi le marquage au sol	7		X										X	X
2-13	Actionner l'ouverture de la porte	1			X									X	
2-25	Franchir le marquage au sol pour passer dans la zone "propre" du sas (psychologique)	2		X	X									X	X
2-26	Ne jamais retourner en arrière après avoir franchi le marquage au sol	7		X										X	X
2-27	Actionner l'ouverture de la porte	1			X									X	
2-28	Saisir les sur-bottes sur l'étagère	3			X									X	
2-29	Désinfecter le banc avec le spray	7		X	X			X						X	X
2-30	Endosser les sur-bottes	8			X									X	
2-31	Ne jamais retourner en arrière après avoir franchi le banc	9		X										X	X
2-32	Désinfecter les mains (avec la première paire de gants) avec la solution hydro-alcoolique	8			X								X	X	X
2-33	Saisir le masque de vision dans l'armoire	3			X									X	X
2-34	Endosser le masque de vision	8			X									X	X

Tableau 17 : Les indicateurs de performance

6.4.4.2. Le codage des erreurs

Pour ce qui concerne le codage des erreurs, nous avons trouvé dans la littérature scientifique de nombreuses méthodes qui permettent de tracer les actions que l'apprenant-joueur entreprend au sein de LabQuest. Nous avons pourtant été obligé de développer une méthode *ad hoc* qui répondait à nos exigences de traçabilité et d'évaluation et qui soit adaptée à la manière dont les actions étaient réalisées et tracées dans l'univers virtuel. Pour développer ces méthodes, nous avons tout d'abord mis au clair quelles étaient les finalités et les modalités selon lesquelles les erreurs devaient être évaluées.

Prenons maintenant en considération les modalités d'interaction possibles avec LabQuest dans la phase de jeu à la première personne (immersion en ZAC) :

- toute interaction avec les objets se fait par un clic sur l'objet même. L'objet peut être simplement pris en main et déposé sur des surfaces, des zones de déposes signalées par un contour vert (table, banc, armoires à vêtements) ou dans les poubelles. Des *drag and drop* (glisser et déposer) sont prévus en cas de déplacement direct des objets, notamment des éléments de la tenue vestimentaire pendant la procédure d'habillage ou de déshabillage. Les zones de dépose des objets sont signalées par un contour lumineux (vert ou jaune selon la distance de l'avatar par rapport à l'objet ou à la zone). Les menus contextuels sont prévus pour les objets qui offrent plusieurs modalités d'interaction. Ce système de traçabilité permet d'enregistrer toute action/interaction que l'apprenant fait au travers de son avatar (quel objet a été pris/déposé et à quel moment) ;
- toujours dans la phase d'immersion en ZAC, les déplacements du personnage sont enregistrés au niveau du passage des portes, des lignes au sol et du banc.

Concernant la traçabilité des erreurs dans la phase de jeu consacrée à la vidéo d'observation :

- tout clic dans l'écran est signalé et enregistré dans le système ;
- toute mise en pause (en appuyant sur la barre espace) est tracée et enregistrée dans le système.

En ce qui concerne la troisième partie consacrée au dossier de lot³⁶, le mécanisme d'enregistrement des erreurs se fait de la même manière que pour la vidéo d'observation.

³⁶ Le dossier de lot est un document qui sert à maintenir l'historique du lot afin de garantir chaque moment de son historique.

indicateur	description	détection	in_process	criticality_level	input	kpi_a0	kpi_a1	kpi_a2	kpi_a3	kpi_a4	kpi_a5	kpi_a6	kpi_a7	kpi_a8	kpi_a9	kpi_a10	kpi_a11	kpi_b0	kpi_b1	kpi_b2	error
→ Entrée dans le sas D (sens aller)																					
2-630	Outil de se désinfecter les mains avant de quitter le sas NC	Détecté à l'entrée du sas D	X	8																	
2-640	Outil de la charlotte	Détecté à l'entrée du sas D	X	10																	
2-650	Outil du haut du pyjama	Détecté à l'entrée du sas D	X	10																	
2-660	Outil du bas du pyjama	Détecté à l'entrée du sas D	X	10																	
2-670	Outil de la cagoule	Détecté à l'entrée du sas D	X	10																	
2-680	Outil des chaussures de zone	Détecté à l'entrée du sas D	X	10																	
2-690	Outil des surchausses	Détecté à l'entrée du sas D	X	10																	
2-700	Hésitation sur l'ordre d'habillage : masque de chirurgien	Détecté si l'objet est pris en main puis reposé dans un casier	X	2																	
2-710	Masque de chirurgien déposé dans la poubelle	Détecté si l'objet est mis à la poubelle		1																	
2-720	Masque de chirurgien dans la main à l'entrée du sas C	Détecté si l'objet est dans la main au moment de l'entrée en sas C	X	7																	
2-730	Manipulation de la charlotte	Détecté si l'objet est manipulé (dès la prise en main) dans les zones D/C/B/ZAC		10																	
2-740	Manipulation du haut du pyjama	Détecté si l'objet est manipulé (dès la prise en main) dans les zones D/C/B/ZAC		10																	
2-750	Manipulation du bas du pyjama	Détecté si l'objet est manipulé (dès la prise en main) dans les zones D/C/B/ZAC		10																	
2-760	Manipulation de la cagoule	Détecté si l'objet est manipulé (dès la prise en main) dans les zones D/C/B/ZAC		10																	
2-770	Manipulation des chaussures de zone	Détecté si l'objet est manipulé (dès la prise en main) dans les zones D/C/B/ZAC		10																	
2-780	Manipulation des surchausses	Détecté si l'objet est manipulé (dès la prise en main) dans les zones C/B/ZAC //1		10																	
→ Entrée dans le sas C (sens aller)																					
2-790	Outil du masque de chirurgien	Détecté à l'entrée du sas C	X	10																	
2-800	Outil de se désinfecter les mains avant de mettre les gants nitrile	Détecté si non fait avant de mettre les gants nitrile	X	8																	
2-810	Hésitation sur l'ordre d'habillage : gants nitrile	Détecté si l'objet est pris en main puis reposé dans un casier	X	2																	

Tableau 18 : Le codage des erreurs

Le tableau 18 proposé ci-dessus (tableau des erreurs) représente l'évolution du tableau des indicateurs (cf. tableau 17). En effet, la seule différence entre les deux correspond à la déclinaison des erreurs qu'il est possible de commettre avec chaque objet présent dans l'environnement 3D. Cette déclinaison présente donc des réponses ou actions correctes (signalées par une croix dans la colonne « in_process ») et toutes les déclinaisons possibles d'erreurs qui peuvent être commises. Une colonne « error » s'active au moment où une erreur est accomplie dans la simulation et donc enregistrée dans le système.

6.4.4.3. L'algorithme de score

De même que dans la vie réelle, LabQuest propose à l'apprenant la possibilité d'effectuer des actions (des tâches) qui n'ont pas la même importance en vue de la réalisation d'un geste professionnel : par exemple, le fait de toucher l'extérieur du pyjama d'usine n'a pas le même degré de gravité que celui de toucher l'extérieur de la combinaison. Pour ces raisons, pour restituer à l'apprenant un diagnostic sensible de ses compétences, chaque indicateur de performance relevant des gestes professionnels a été affecté par un facteur de risque : ce coefficient indique le degré de dangerosité de l'action au sein de la procédure et permet de hiérarchiser, par ordre d'importance, les indicateurs décrivant la totalité des procédures.

Le score optimal est donc représenté par l'ensemble des indicateurs. Cette somme donne un résultat qui est considéré comme un score maximal atteignable avec 100 % de réponses correctes.

Une fois que l'apprenant-opérateur-utilisateur évalué aura passé la totalité de la simulation-évaluation, le serveur recueillant les données aura enregistré toutes les actions réalisées pendant l'exploration selon les critères que nous avons décrits dans le paragraphe précédent. Afin d'obtenir le score réel, nous avons programmé le système informatique de façon à ce qu'un calcul puisse donner le résultat réel des performances réalisées par l'utilisateur. Cet algorithme permet, en effet, de soustraire au score « virtuel » (100 %) les erreurs commises par le joueur tout en tenant compte du facteur de risque affecté au point de départ.

De plus, d'autres facteurs impactent le résultat final du score obtenu : il s'agit des coefficients d'imputation.

- le temps écoulé.
- le nombre d'hésitations (prendre ou reposer un objet ou nombre de mises en pause) ; et
- l'évolution des performances (l'utilisateur peut décider de refaire une ou plusieurs étapes de la simulation).

Sur la figure 15 ci-contre, nous proposons un exemple de tableau de bord illustrant le score obtenu par un opérateur ayant réalisé une évaluation avec LabQuest.

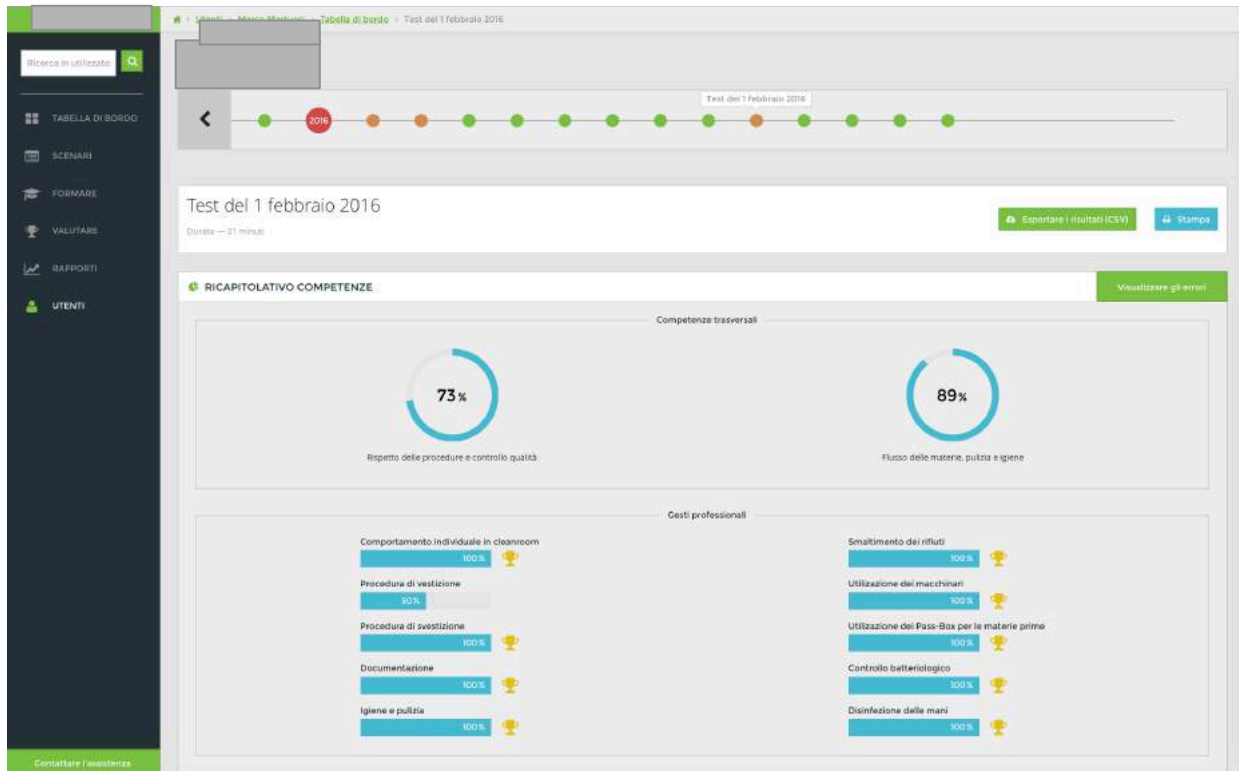


Figure 15 : Écran récapitulatif des scores dans le tableau de bord du logiciel³⁷

6.4.5. Phase 5 : l'Interface Homme-Machine (IHM)

Pendant la cinquième phase de conception de l'interface homme-machine, nous avons testé et ajusté les différentes possibilités d'action que l'utilisateur peut avoir sur les objets, le personnage et l'environnement simulé.

Cette conception de l'interface homme-machine comporte deux aspects :

- les modalités d'interaction avec les objets et l'environnement ; et,
- le didacticiel mis en place pour le processus de prise en main et d'apprentissage du SG.

Le système de *gamification* de ce SG est relativement faible : il concerne surtout l'animation des objets et la façon dont les contenus pédagogiques sont illustrés ainsi que l'intégration des miroirs. Ce choix a été dicté par le client qui voulait maintenir un aspect sérieux du jeu. C'est pour cette même raison que LabQuest est promu dans les entreprises pharmaceutiques comme simulateur et non pas comme SG. Nous argumenterons le choix de la définition de SG ou de simulateur lors de la discussion générale de cette thèse. Nous admettons nous-mêmes la faible utilisation de moyens ludiques, mais le modèle de conception que nous avons développé peut s'appliquer de manière pertinente aux deux typologies de dispositif.

³⁷ La capture d'écran présente le score en langue italienne : en effet elle est tirée d'une évaluation réelle qui a été mise en place par une entreprise pharmaceutique italienne dont nous avons choisi de rendre l'identité anonyme.

6.4.5.1. Modalités d'interaction et interface homme-machine

Le *gameplay* représente l'ensemble des actions qui permettent au joueur d'avoir une interaction avec les objets, les personnages et, plus généralement, l'environnement dans le SG. C'est un constituant de l'interface homme-machine qui a été déployée selon des critères d'intuitivité et de simplicité afin de réduire au maximum les difficultés inhérentes à l'usage du dispositif :

- 1) déplacement de l'avatar *via* les flèches présentes sur le clavier de l'ordinateur ;
- 2) orientation du regard en déplaçant le curseur de la souris à droite, à gauche, en haut et en bas de l'écran ;
- 3) saisie d'un objet en cliquant dessus. L'objet sélectionné apparaît dans deux zones circulaires en bas de l'écran, représentant les « mains virtuelles » de l'utilisateur ;
- 4) déplacement d'un objet par *drag and drop* de l'objet à l'endroit de destination ;
- 5) *gameplay* spécial pour certains objets proposant plusieurs possibilités d'interactions. L'affichage d'un menu contextuel permet à l'utilisateur de choisir l'action envisagée.

Ces fonctionnalités sont traitées et expliquées dans toutes les premières phases de prise en main du SG, c'est-à-dire dans le didacticiel.

6.4.5.2. Le tutoriel (ou didacticiel)

Un tutoriel – ou didacticiel - est une démarche d'apprentissage rapide qui permet à l'utilisateur d'apprendre à interagir avec l'environnement virtuel en le conduisant pas à pas à travers les différentes phases du *gameplay*, en vue de maîtriser complètement l'outil de simulation (*cf.* figures 16, 17, 18 et 19). Ce dispositif permet à la personne de développer une certaine habileté avec le logiciel et d'avoir une aisance suffisante pour l'aboutissement des objectifs proposés.

A cette finalité pédagogique s'ajoute une possibilité de diagnostic du niveau d'aisance atteint par la personne explorant l'univers virtuel. En effet, le système permet de détecter les personnes qui ne sont pas en mesure d'utiliser le dispositif et propose, dans ce cas, de mettre fin à la simulation.

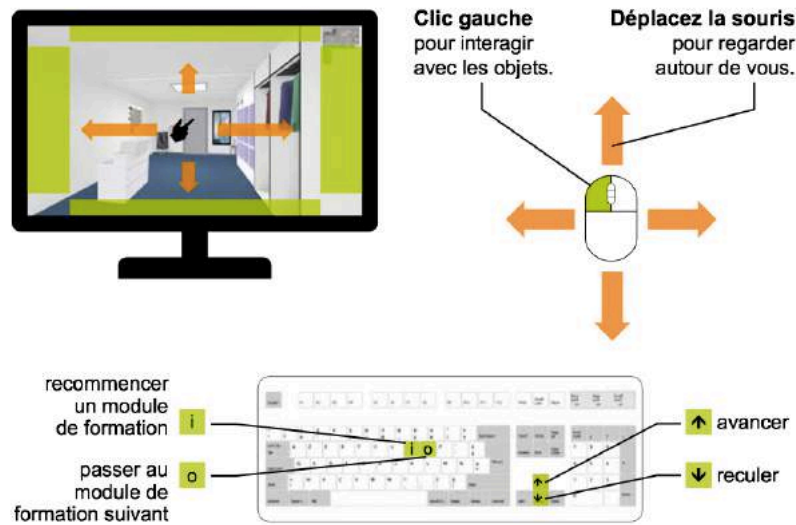


Figure 16 : Les commandes pour le déplacement dans LabQuest

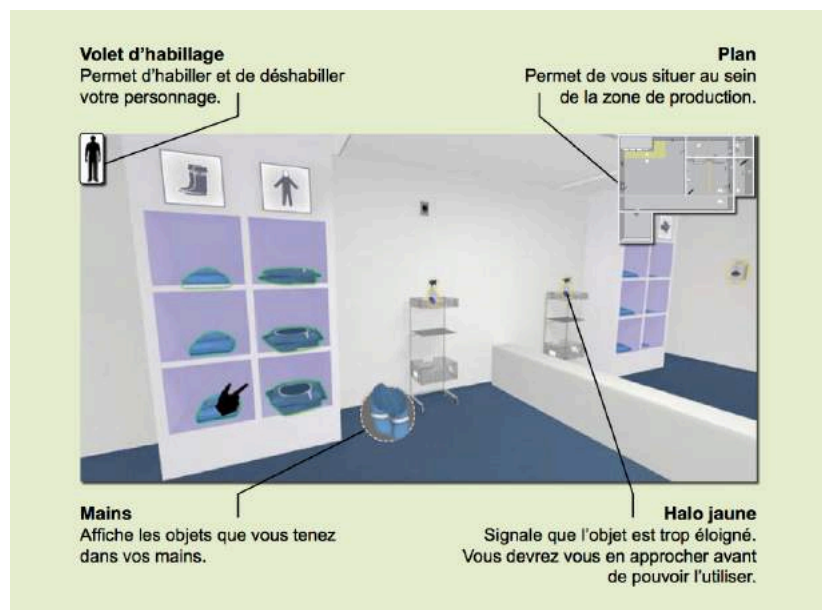


Figure 17 : Les éléments du décor, les objets et l'avatar

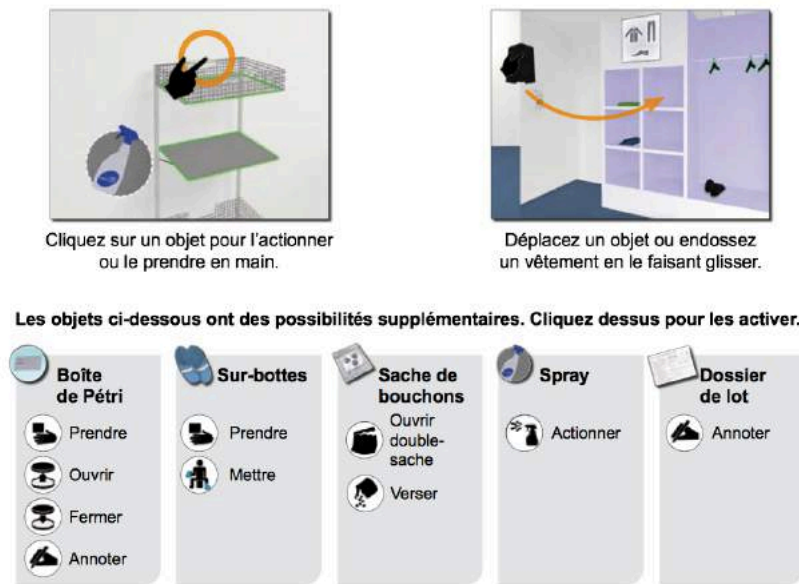


Figure 18 : L'interaction avec les objets simples et complexes

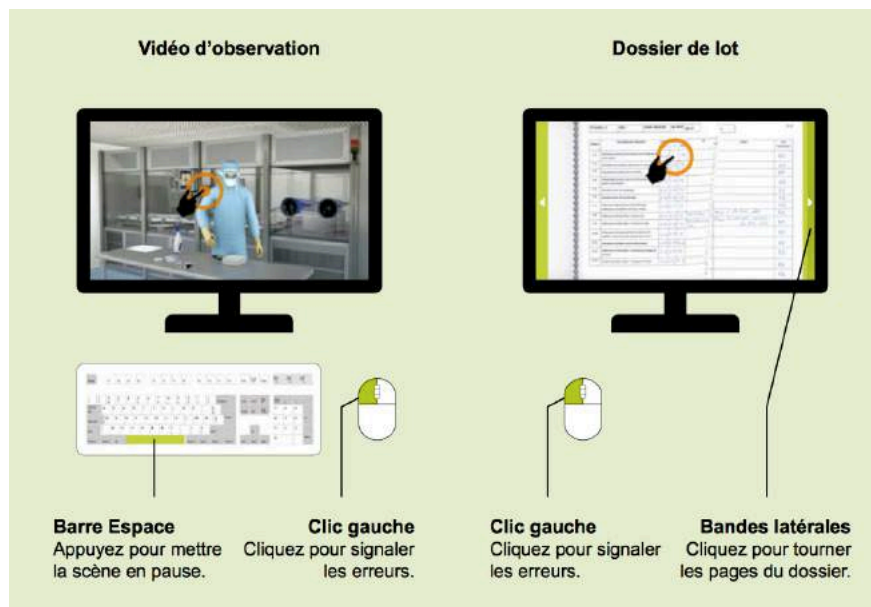


Figure 19 : Les commandes pour signaler les erreurs dans les séquences « vidéo d'observation » et « dossier de lot »

6.5. L'architecture des contenus pédagogiques

Voici la structure générale que nous avons modélisée pour illustrer l'architecture des contenus pédagogiques composant notre dispositif d'évaluation.

6.5.1. Les 10 gestes professionnels

Comme cela a déjà été précisé, un geste professionnel est un ensemble d'actions, de mouvements, de postures et d'opérations (physiques et mentales) articulés et coordonnés,

visant à la réalisation d'une tâche de production ou de service. La réalisation d'un geste professionnel requiert la mobilisation de compétences professionnelles.

Dans LabQuest, nous avons intégré un total de 10 gestes professionnels.

- 1) Comportement individuel en ZAC : il s'agit d'un principe qui dirige toute opération, déplacement et contact ayant lieu dans toute zone classée de l'entreprise : « tous contacts entre des objets « contaminés » et les parties « propres » de l'environnement doivent être évités ». Un objet contaminé, dans ce contexte, est un objet qui n'atteint pas le niveau optimal de propreté pour garantir la stérilité du produit et/ou dont le niveau de propreté n'est pas/plus le même que celui de l'environnement dans lequel il se trouve. Il s'agit d'un geste professionnel « théorique » ou de l'ordre de l'invisible qui oblige l'opérateur, dans les moments critiques (dépassement du marquage au sol, franchissement du banc), à assumer son geste de manière irréversible et à une prise de responsabilité non neutre.
- 2) Procédure d'habillage : cette procédure décrit en détail l'ordre, le lieu et les étapes fondamentales pour qu'un habillage puisse atteindre le niveau de qualité optimal pour la protection de l'opérateur et du produit en salle blanche.
- 3) Procédure de déshabillage : la procédure de déshabillage est conçue afin de neutraliser, dans les délais les plus courts possibles, toute menace de contamination, notamment pour l'environnement, que la tenue de l'opérateur aurait pu rencontrer pendant son activité en salle de production.
- 4) Documentation : elle concerne la documentation nécessaire pour le contrôle de la qualité du produit. Ce geste professionnel comprend notamment la documentation de toute anomalie, incident, ou point particulier survenu dans un contexte de production. Il est également indispensable de noter les changements d'équipe et les interventions extérieures afin d'attribuer à chaque manipulation une personne responsable.
- 5) Bio-nettoyage : la procédure de nettoyage des surfaces est précise et codifiée selon les règles « du sale vers le propre » pour toute entrée en zone (par étapes successives) et « du propre vers le sale » pour la sortie. L'objectif de ce geste professionnel est d'éviter la contamination du produit, de l'opérateur et de l'environnement et notamment de limiter le contact entre les différents objets.
- 6) Traitement des déchets : tout déchet fait l'objet d'une procédure de décontamination et/ou de destruction adaptée à son degré de contamination et de dangerosité. Les règles qui gèrent ces processus sont très strictes. L'élimination de la plupart des déchets doit être documentée et soigneusement répertoriée.

- 7) Utilisation des machines : il s'agit de la description des procédures et des comportements nécessaires à l'utilisation des machines : ouverture, fermeture, introduction d'objets, nettoyage...
- 8) Utilisation des sas matériels : il s'agit de la description des procédures et des comportements nécessaires à l'utilisation de ce dispositif particulier, faisant le lien entre deux environnements aux niveaux de confinement et de propreté différents : ouverture, fermeture, introduction d'objets, nettoyage...
- 9) Contrôle bactériologique : c'est une procédure indispensable destinée à vérifier l'état de l'air au sein duquel se déroulent des activités de production, notamment celui entourant la machine. Il s'agit de l'installation et de l'ouverture de boîtes de gélose au niveau de la remplisseuse, devant être remplacées toutes les 4 heures.
- 10) Désinfection des mains : c'est l'une des procédures les plus délicates et les plus importantes. Elle comprend des enchaînements de séquences d'actions précises, devant être répétées de manière fréquente tout au long de l'activité de l'opérateur dans l'entreprise et plus particulièrement en ZAC.

Chaque geste professionnel est composé d'un ensemble d'actions et de règles (tâches) qui doivent, l'une après l'autre, être exécutées dans le bon ordre. L'exécution de chaque tâche donne comme résultat l'aboutissement du geste lui-même. Nous appelons ces actions « indicateurs de performance ».

6.5.2. Définition des indicateurs de performance

Les indicateurs sont les micro-tâches, les mouvements qu'une personne intervenant en salle blanche doit respecter. L'appellation « indicateurs de performance » fait référence au fait que chaque mouvement peut avoir un impact sur la qualité du geste et donc de la performance. En effet, l'exécution de chaque micro-tâche, et l'enchaînement de ces dernières pour la réalisation d'une procédure, offre une idée précise de la maîtrise que la personne a du geste professionnel. Toutefois, chaque indicateur n'assume pas la même importance pour l'accomplissement du geste professionnel. Par conséquent, chacun peut prendre une valeur relative que nous appelons « *facteur de risque* » qui indique le niveau de dangerosité, d'importance, de facteur d'impact, de délicatesse de la micro-tâche (indicateur) décrite, par rapport à l'ensemble des gestes. Le poids de chaque indicateur n'est donc pas le même ; ils peuvent dès lors être classés dans un ordre hiérarchique. Chaque procédure décrite plus haut contient un nombre d'indicateurs qui mettent en évidence, selon la justesse avec laquelle elle vient d'être exécutée, le niveau de compétence de la personne qui l'exécute.

6.5.3. Les domaines de compétence

Nous définissons comme « domaines de compétence » les facteurs transversaux qui peuvent regrouper les 10 gestes professionnels en deux grandes aires. Ces aires ne sont pas définies par l'addition intégrale de plusieurs gestes professionnels ; elles peuvent cependant emprunter différents indicateurs à différents gestes professionnels.

Les domaines de compétence sont :

1. respect des procédures / assurance qualité : ce domaine de compétence met en évidence le niveau de maîtrise de l'opérateur pour certains gestes professionnels (habillage, déshabillage, usage des machines, etc.). Il comprend également les aspects liés à l'assurance qualité et aux procédures de documentation des dossiers d'opérations de production ;
2. respect des flux des matières et des personnes / propreté / hygiène : ce domaine de compétence est extrêmement important pour les opérateurs des industries pharmaceutiques. Il se rapporte notamment aux entrées et sorties des personnes des sas et des ZAC, mais aussi à celles des matières présentes dans toute l'entreprise. De plus, ce facteur est révélateur de l'attention que l'opérateur consacre aux gestes liés à la propreté, à la désinfection et à la décontamination des objets et des parties du corps et de sa tenue (lavage des mains, contact avec les objets, nettoyage des surfaces, traitement des déchets, etc.).

Chaque geste professionnel est caractérisé par un pourcentage précis d'indicateurs qui appartiennent à l'un, à l'autre ou aux deux domaines de compétence. À ces deux domaines de compétences se rajoute un troisième, qui est transversal durant tout le déroulement du jeu et englobe des mesures de natures différentes. Nous considérons cette dernière une « *compétence transversale* ». Ce domaine se compose de deux éléments fondamentaux qui sont pris en considération pour l'évaluation de l'opérateur dans l'environnement virtuel proposé :

1. la gestion du temps : cet élément est fondamental pour comprendre comment l'utilisateur évalué réagit face au logiciel d'évaluation. Le facteur temps nous permet de mesurer l'écart de temps qui existe entre un utilisateur lambda et un formateur expérimenté pour aboutir à la tâche (temps de référence, qui nous a servi de modèle de mesure).
2. l'évolution des performances : nous pouvons avoir une idée de la capacité d'amélioration de l'utilisateur évalué s'il décide de recommencer les étapes 2 et 4, comme cela lui a été proposé. Il s'agit dès lors des étapes optionnelles 5 et 6. La différence entre les deux scores (5-2 et 6-4) met en évidence la progression ou la régression de la performance. L'évolution peut en effet être positive (en cas de progression) ou négative (en cas de régression).

Voici une image qui explique clairement la structure pédagogique de notre outil (cf. figure 20).

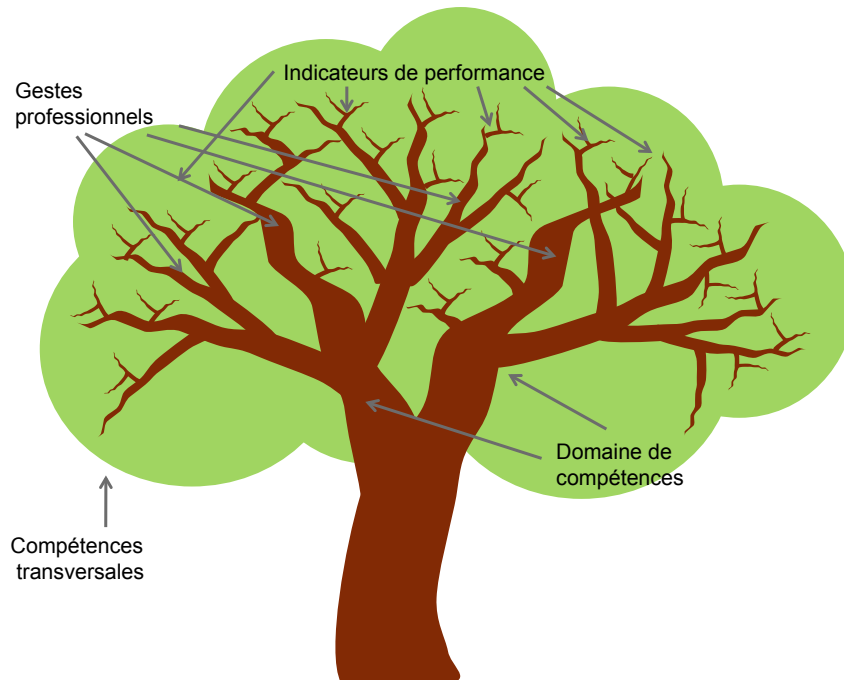


Figure 20 : *Structure des contenus pédagogiques de LabQuest*

Comme nous pouvons le remarquer, les deux branches principales représentent les deux domaines de compétence. Ces domaines sont décrits par des branches plus petites qu'on appelle gestes professionnels. Ces derniers sont à leur tour formés par l'ensemble des actions nécessaires menant à leur aboutissement : les indicateurs de performance.

6.6. Le guide d'utilisation de LabQuest : description et méthodologie de constitution

Le guide d'utilisation de LabQuest est un outil dont la nécessité a été diagnostiquée à la suite des premières tentatives de vente du produit. En effet, lors de la rencontre avec les clients, nous avons repéré des difficultés liées à la prise en main de l'outil par ses utilisateurs.

Les problématiques liées à l'utilisation de LabQuest sont multiples : ainsi, nous avons pu observer que les personnes utilisant pour la première fois le SG avaient tendance à sous-estimer l'importance d'effectuer l'intégralité du tutoriel. Nous avons remarqué que les formateurs avaient des difficultés à extraire les normes et les règles sous-jacentes au scénario pédagogique et, par conséquent, qu'il leur était difficile de se faire une idée des contenus susceptibles d'être enseignés lors de la simulation.

6.6.1. La structure du guide à l'utilisation de *LabQuest*

Le guide d'utilisation de LabQuest a comme finalité d'apprendre aux formateurs à se servir des fonctionnalités du SG. Ce guide contient :

- la présentation de la structure du SG en trois parties ou séquences : 1° première personne, 2° superviseur ou vidéo d'observation et 3° documentation) ;
- un tableau explicatif qui traite des contenus pédagogiques susceptibles d'être abordés dans les différentes parties du jeu ;
- la liste des objets présents dans l'environnement 3D, organisé par sas avec un accès direct au plan ; et
- un manuel d'utilisation récapitulant les commandes de jeu et les modalités d'interaction avec les objets.

6.6.2. Le guide des contenus pédagogiques

Si le manuel d'utilisation récapitulant les commandes de jeu et les modalités d'interaction avec les objets consiste en une simple présentation des éléments présents dans le logiciel, la création d'un guide explicatif traitant des contenus pédagogiques inclus dans LabQuest a nécessité un processus d'explicitation des normes sous-jacentes aux lieux et aux objets présents dans l'environnement 3D. Pour la conception du guide des contenus pédagogiques, nous avons sélectionné les six sujets que nous identifions comme étant à la base du scénario pédagogique de LabQuest. En effet, le déploiement de ces six thèmes fondamentaux donne comme résultat l'intégralité du scénario pédagogique du SG.

Les thématiques sélectionnées sont :

- Habillage
- Hygiène et nettoyage
- Flux (de personnes, de matières, de déchets)
- Monitoring environnemental
- Documentation et traçabilité
- Sécurité de la personne

Pour chaque thème, nous avons dressé une liste des objets et des éléments présents dans l'environnement qui peuvent être utilisés pour aborder les problématiques liées aux normes. Pour chaque objet, nous avons ensuite énoncé la règle ou la norme sous-jacente. En d'autres termes, nous nous sommes efforcés de rendre explicites les « Bonnes Pratiques de Fabrication » concernant tout objet avec lequel l'utilisateur peut interagir dans l'environnement virtuel.

Par exemple, dans la phase d'habillage, nous avons pu traiter de la norme « habillage du haut vers le bas » en donnant à l'utilisateur la possibilité d'endosser le « pyjama usine » en deux morceaux. De même, grâce à la présence du banc dans le sas d'habillage en classe B, nous pouvons aborder les problématiques liées aux modalités de nettoyage et de désinfection des

surfaces, ainsi que du franchissement du banc des flux, des matières et des personnes. Dans le tableau 19 ci-dessous, nous proposons un exemple du travail de mise en forme des règles et des normes qui peuvent être abordées dans LabQuest. De même, l'emplacement de ces objets est schématisé dans la figure 21. Aussi, une liste exhaustive de tous les éléments est fournie dans le même guide (voir les annexes pour la version intégrale du guide d'utilisation de LabQuest).

N°	Objet / Élément	Règle / Norme
1	Utilisation du gel hydro-alcoolique Sas NC, C, B, ZAC	Il est nécessaire de se désinfecter régulièrement les mains et les gants, notamment lors de chaque contact avec un objet ou avant d'intervenir sur/dans la machine.
2	Contact de la main avec le capteur d'ouverture de la porte Vidéo filmée	Il faut éviter d'entrer en contact avec les murs de la zone de production ou les parois d'équipements qui sont potentiellement contaminants.
3	Les manches de la combinaison touchent accidentellement le sol Vidéo filmée	
4	Endossage des sur-bottes Sas B, vidéo filmée	
5	Endossage des sur-chaussures Sas NC	Un objet mis en contact ou simplement approché du sol est potentiellement contaminé.
6	Enlever les sur-chaussures Vidéo filmée	
7	Ramasser un objet tombé au sol Vidéo pré calculée	
8	Spray désinfectants et lingettes Sas B, ZAC, vidéo pré calculée	
9	Nettoyage du banc Sas B, vidéo filmée	Toutes les surfaces sont potentiellement contaminées ; elles doivent être nettoyées et/ou désinfectées de manière adéquate avant usage.
10	Nettoyage de la machine suite à une projection de liquide Vidéo pré calculée	
11	Utilisation du lavabo Sas NC	Il est important de bien se laver les mains avant d'entamer la procédure d'habillage.

Tableau 19 : Exemple de tableau des objets et de leurs normes relatives, disponible dans le guide pédagogique

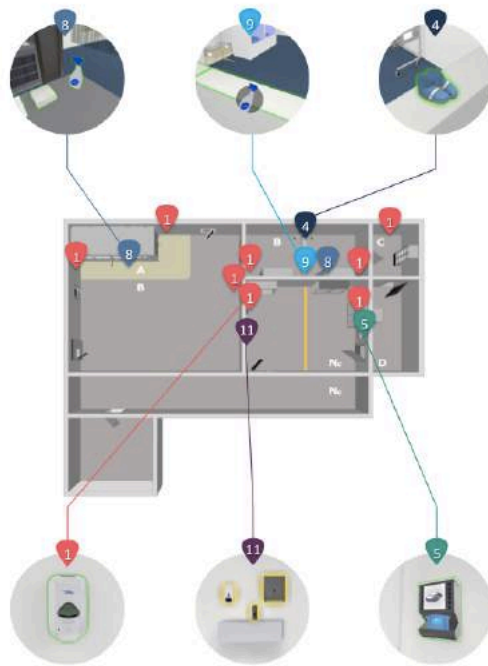


Figure 21 : Plan de l'usine montrant l'emplacement des objets dans LabQuest

6.6.3. La liste des objets

Pour assurer une meilleure accessibilité aux objets et aux éléments présents dans les pièces de l'usine virtuelle LabQuest, nous avons dressé une liste de tous les objets susceptibles d'être utilisés et avec lesquels les usagers peuvent entrer en interaction. Voici un exemple relatif à la ZAC (voir les annexes pour la version intégrale du guide à l'utilisation de LabQuest).



Figure 22 : Liste des objets présents dans LabQuest

6.6.4. Le guide des commandes et du *gameplay*

Le guide d'utilisation de LabQuest propose une présentation claire et précise des commandes et du *gameplay* qui permet d'interagir avec l'environnement 3D et d'avoir une action sur ce dernier. Le but de cette partie du guide d'utilisation de LabQuest est celui de créer un support isolé qui puisse être détaché du support relié et utilisé comme *mémoire* lors de l'activité de l'utilisateur dans le SG (par exemple, à côté de l'ordinateur, au cas où l'apprenant ne se souviendrait plus comment exécuter telle ou telle action).

Le guide contient les commandes que nous avons présentées dans le chapitre consacré au tutoriel.

6.7. LabQuest Formation : l'intégration des POI (Points of Interest)

6.7.1. Le besoin

LabQuest formation est un produit qui a été pensé par l'équipe WhiteQuest à deux grands moments de l'histoire de la société. En effet, le projet initial (datant de la création de la société) était celui de développer un outil d'évaluation des compétences-clés pour le travail en zone de production pharmaceutique (LabQuest évaluation), et un outil de formation complet qui puisse couvrir la palette des contenus indispensables pour l'acquisition des compétences nécessaires pour l'entrée en ZAC.

Avec la commercialisation de LabQuest évaluation, nous avons diagnostiqué, auprès des clients, des besoins de formation réels qui ont donné une impulsion importante à la réflexion et à une réévaluation des priorités relatives à la constitution d'un outil de formation et/ou d'autoformation. Les raisons justifiant ces besoins sont nombreuses :

- l'équipe de direction nous a exprimé la nécessité d'un outil d'autoformation à cause des difficultés rencontrées lorsqu'il s'agit de réunir les personnels travaillant ensemble sur des temps de travail en 5 x 8³⁸. Elle nous a également fait comprendre que pour pouvoir organiser des formations collectives il est souvent demandé aux personnels de revenir sur le site de production lors de leurs jours de repos ;
- l'équipe de direction envisage de réduire les coûts variables liés à l'embauche des formateurs en adoptant des modalités de formation qu'il est possible de contrôler (notamment avec le renouvellement d'un contrat et une facture) ;
- l'équipe de direction souhaite disposer d'un module de formation toujours disponible afin de combler les moments d'inactivité imprévus des opérateurs, comme par exemple un arrêt machine ou un incident ;
- les supports de formation des organismes extérieurs à l'entreprise apparaissent souvent non adaptés, peu attractifs, rarement à jour et désuets. Il s'agit souvent de CR-ROM qui ont été développés il y a 10 ans sans aucune mise à jour (la dernière norme rédigée date de 2004. Il s'agit de ISO 14644-5) ;
- l'objectif des formateurs et du personnel de direction est celui de donner une « culture qualité » aux personnes travaillant dans la zone de production et de les rendre capables de comprendre le « pourquoi du comment », c'est-à-dire les raisons pour lesquelles il est

³⁸ Les 5 x 8 ou cinq-huit sont un système d'organisation d'horaires de travail en travail posté qui consiste à faire tourner par roulement de huit heures consécutives cinq équipes sur un même poste, afin d'assurer un fonctionnement continu sur les 24 h d'une journée, y compris le week-end. Les équipes changent de tranche horaire tous les deux jours, sauf l'équipe de repos, qui y reste quatre jours consécutifs.

indispensable d'assumer un certain comportement dans la situation donnée. Les formations actuelles disponibles ont une approche orientée sur la présentation de la norme sans une vraie contextualisation dans l'environnement de travail ; et enfin,

- dans les entreprises de taille moyenne, les formations sont souvent faites en interne par des personnes qui ne sont pas de vrais formateurs. La plupart du temps, il s'agit d'anciens opérateurs ayant atteint un niveau d'ancienneté et un niveau de connaissance suffisants pour pouvoir faire du tutorat en salle stérile. L'avantage est que ces personnes ont une pratique quotidienne très solide, qui ne garantit cependant pas la maîtrise de compétences pédagogiques dans l'enseignement. Cette pratique comporte de nombreuses limites comme, par exemple, l'absence de discours structuré et le manque de connaissance des principes BPF et de toutes les autres normes à respecter. Pour ces raisons, LabQuest formation pourrait être un outil très efficace pour assurer une homogénéisation du discours de formateurs partageant ce type de profil.

En réponse aux besoins que nous avons repérés durant les premières phases de commercialisation de LabQuest évaluation, nous avons déployé LabQuest formation. Avec, l'idée de reproduire les principes fondamentaux de la production pharmaceutique dans l'environnement déjà disponible. Cette offre de formation permet de :

- présenter et d'aborder de façon située les contenus BPF et les règles de comportement à observer dans les zones de production des usines pharmaceutiques, grâce à des simulations tout en offrant un environnement virtuel sécurisé. Cette approche permet aussi d'analyser le comportement individuel en ZAC, la documentation, l'hygiène et le nettoyage ainsi que le flux des matières/air/déchets ;
- simuler une entrée en ZAC et les thématiques liées à cette procédure : le monitoring environnemental, la procédure d'habillage, les flux de personnes et de matières ; et,
- comprendre les sujets plus difficiles, notamment ceux qui sont de l'ordre de l'invisible, à travers la présentation de schémas explicatifs (plus faciles à comprendre qu'une norme écrite comme nous pouvons la retrouver dans les manuels des BPF).

Il convient de souligner l'importance que nous avons donnée à l'effort de vulgarisation qui a guidé le déploiement de cet outil de formation dont la finalité est de rendre ses contenus pédagogiques les plus clairs et compréhensibles possible pour l'acquisition des compétences professionnelles.

Un cahier pédagogique de tous les contenus d'apprentissage est fourni en annexe de cette thèse.

6.7.2. Choix des contenus de LabQuest formation :

Le choix des contenus à intégrer dans LabQuest formation a fait l'objet d'une réflexion aussi approfondie que ceux que nous avons choisis pour LabQuest évaluation. Le résultat de cette réflexion nous a conduit à prendre la décision de réutiliser les mêmes thèmes que ceux que nous avons retenus pour LabQuest évaluation, car ils étaient déjà connus comme appartenant du noyau fondamental des compétences nécessaires pour le travail en entreprise pharmaceutique.

Les contenus pédagogiques produits sous forme de textes vulgarisés et de schémas, visent l'explication des thématiques les plus sensibles qui permettent à l'apprenant de prendre conscience des erreurs les plus flagrantes à ne pas commettre dans ces environnements sensibles. La production de schémas explicatifs comme ceux, par exemple, des flux aérauliques³⁹ ou laminaires (cf. figure 23) ou des modalités de nettoyage des surfaces (cf. figure 24), permettent à l'apprenant de visualiser des concepts de l'ordre de l'invisible et de pouvoir les intégrer. Par exemple, lorsqu'on parle du nettoyage des surfaces, la réglementation impose à l'opérateur ou à l'agent en charge du nettoyage d'effectuer trois passages de désinfection mécanique (à l'aide d'une lingette) et chimique (à l'aide d'un produit désinfectant). La norme écrite qui énonce la modalité de nettoyage n'explique cependant pas les raisons pour lesquelles ce triple nettoyage est indispensable. Voici donc ce que à quoi nous avons pensé afin d'aborder le sujet pour qu'il soit accessible à toute personne.

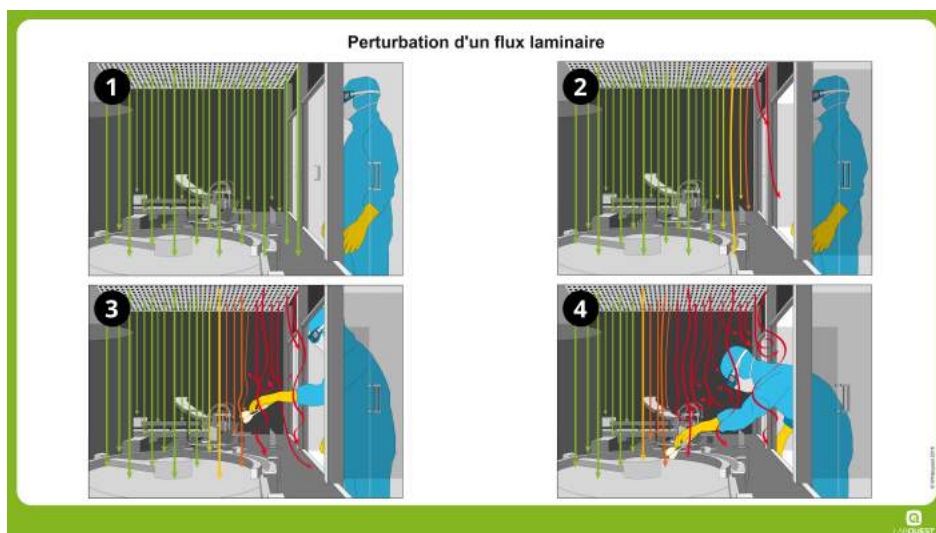


Figure 23 : Illustration POI « perturbation d'un flux laminaire»

³⁹ Le flux aéraulique est un dispositif de conditionnement de l'air qui est mis en place pour maintenir des conditions particulières au sein d'une pièce. De ce dispositif on contrôle la direction de l'air, mais aussi la température et le système de filtration.

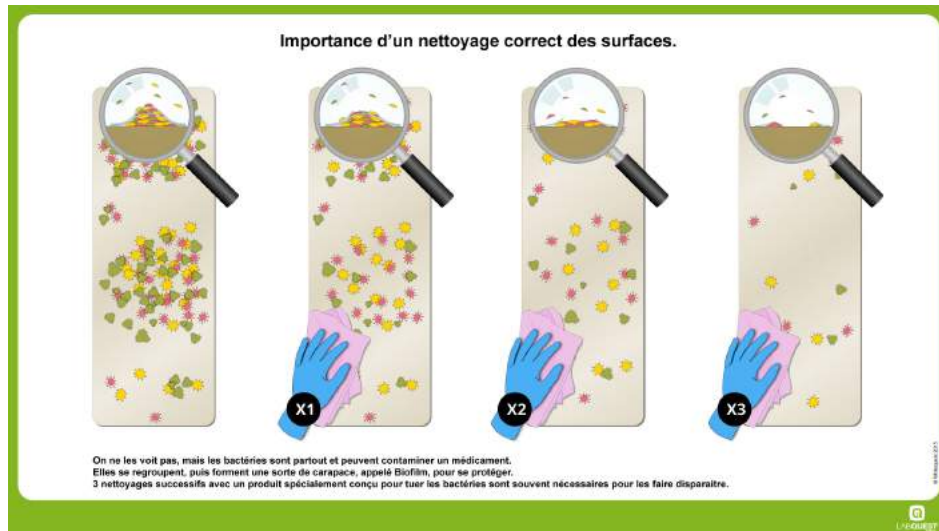


Figure 24 : Illustration POI « importance d'un nettoyage correct des surfaces »

Dans cette illustration (cf. figure 24), nous avons intégré les différentes et nombreuses informations nécessaires à l'accomplissement d'un nettoyage des surfaces de façon exemplaire (trois fois, avec une lingette) mais nous avons aussi expliqué l'intérêt de cette action du point de vue des micro-organismes présents sur les surfaces, qui sont, finalement, la cause de cette nécessité d'un triple nettoyage.

L'avantage de la conception de ces POI (ou contenus de formation) est que jamais, dans ces textes ou dans ces images, on ne parle de « norme ». Au contraire, la force de ce produit réside dans la stimulation d'un apprentissage basé sur l'exploration et la simulation. Chaque opération à réaliser est traitée à l'emplacement où son contenu est le plus adapté dans l'entreprise pharmaceutique virtuelle. Par exemple, les informations concernant le traitement des déchets sont présentées au niveau des poubelles, pour les déchets non sensibles, ou au niveau des dispositifs de stérilisation ou d'inactivation pour les déchets les plus sensibles.

6.7.3. Architecture virtuelle

Le déploiement de LabQuest formation trouve sa force et ses avantages dans la continuité que ce produit a par rapport à LabQuest évaluation. En effet, l'architecture virtuelle de ce second produit reprend exactement l'environnement 3D dessiné pour l'outil d'évaluation.

Les éléments qui composent LabQuest formation sont donc :

- le plan de l'usine repris de LabQuest évaluation. De même que dans l'outil d'évaluation, l'environnement en 3D (dessiné avec le moteur *Unity 3D*) permet à l'apprenant, non seulement d'interagir avec les contenus de formation intégrés, mais aussi d'avoir une action immédiate dans l'environnement virtuel 3D. Le but étant de permettre à la personne de

visualiser le contenu pédagogique, objet du module de formation choisie, et de pouvoir appliquer immédiatement la règle qui lui est expliquée dans l'environnement ;

- un système de *pins*, de repères (identiques à ceux que l'on trouve dans les applications et les sites de plans comme *Google Maps etc.*) signale la présence d'un contenu pédagogique. Pour accéder à ces contenus, l'apprenant doit cliquer sur ces *pins*. La plus part du temps, ils sont positionnés sur les objets présents dans l'environnement 3D qui, d'une façon ou d'une autre, jouent un rôle important dans l'accomplissement du geste. Par exemple, nous avons conçu un POI qui explique l'importance de garder la charlotte sur la tête tout au long des activités effectuées dans la zone de production. Ce contenu d'enseignement est signalé avec un *pin* au niveau du distributeur de charlotte disponible dans le sas non classé de l'usine virtuelle ;
- en cliquant sur les *pins* (cf. figure 25), il est possible de visualiser les POI sous forme de textes, c'est-à-dire l'explication écrite (avec un effort de vulgarisation et d'adaptation de langage) des normes et des règles qui guident les comportements des opérateurs en salle stérile ; et,
- pour certains sujets d'apprentissage, nous avons jugé nécessaire de conceptualiser les POI sous forme d'images, c'est-à-dire de schémas explicatifs abordant surtout les thématiques de l'ordre de l'invisible ou des sujets qui nécessitent une visualisation graphique pour en faciliter la compréhension.



Figure 25 : Emplacement des POIs dans le sas non classé

6.7.4. Architecture thématique

En tant qu'outil de formation, LabQuest permet de personnaliser les parcours de formation en choisissant parmi les points d'intérêts disponibles.

En effet, LabQuest formation présente :

- 53 POI ou contenus de formation reliant les 150 indicateurs sélectionnés précédemment pour la conception de LabQuest évaluation ;

- 6 scénarios de formation préconstitués : habillage ; sécurité de la personne ; nettoyage et désinfection ; flux, monitoring environnemental ; documentation et traçabilité, auxquels se rajoute la notion de comportement individuel ou « règles d'or » qu'il est fondamental d'observer tout au long d'une l'activité en ZAC. Chaque scénario de formation a une durée de 1,5 heures.

L'avantage de cette structure ramifiée des POI et des scénarios réside dans la possibilité donnée aux formateurs de choisir, parmi les contenus de formation, ceux qu'ils envisagent d'aborder dans la session de formation programmée. Il est en fait possible de personnaliser ces scénarios *ad hoc* en sélectionnant un par un les contenus depuis l'interface administrateur.

6.7.5. Conception des illustrations

Dans cette partie de notre travail, nous expliquons quels ont été les critères qui ont guidé la conception graphique des contenus fournis dans LabQuest formation. Pour en faciliter compréhension, nous proposons par la suite de nombreux exemples.

Visualisation des procédures. L'« escamotage pédagogique », très souvent employé, consiste en une présentation graphique associée à l'explication de la bonne procédure à suivre. L'image propose des comportements, le premier avec le geste « mal réalisé » et le second avec le geste « bien réalisé ». Voici deux exemples sur les figures 26 et 27 :

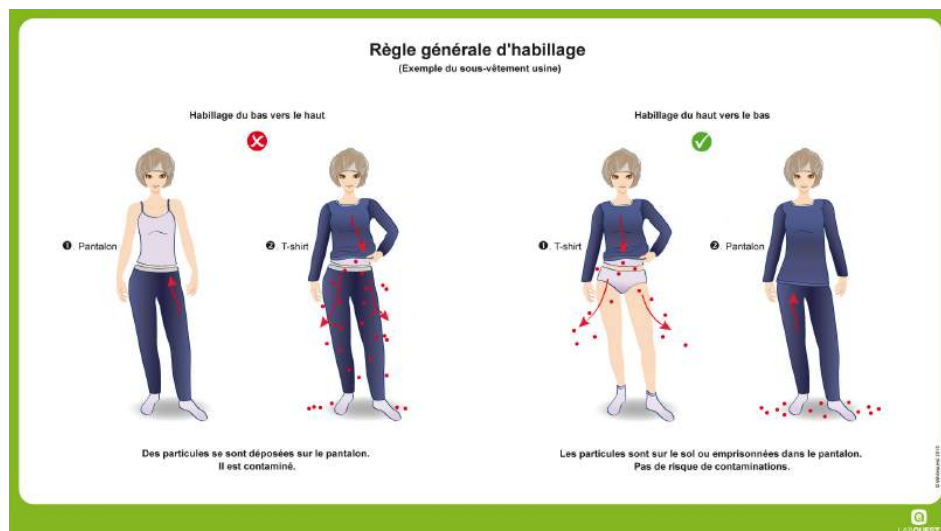


Figure 26 : Illustration POI « Règle générale d'habillage »

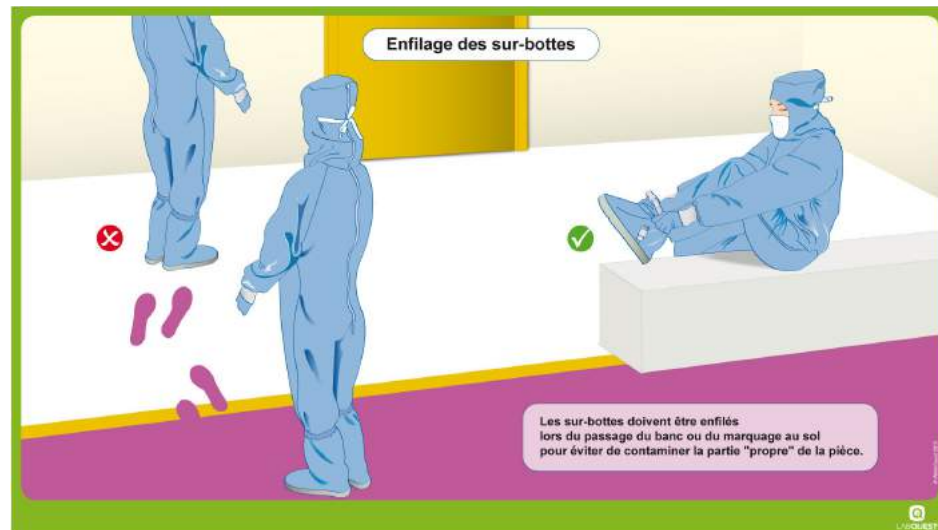


Figure 27 : Illustration POI « Enfilage des sur-bottes »

L'emploi de cette comparaison permet non seulement de présenter les modalités idéales d'exécution du geste, mais elle permet aussi à l'apprenant de prendre conscience des raisons pour lesquelles il est indispensable d'effectuer la procédure d'une certaine manière. Si nous prenons comme exemple la figure 26, nous comprenons que le manière correcte de s'habiller est celle « du haut vers le bas » et non l'inverse en raison de la possibilité de chute de particule lors de l'enfilage du t-shirt, sur le pantalon. De façon similaire, sur la figure 27, détaillant la procédure de l'enfilage des sur-bottes, nous pouvons instantanément déceler quelles sont les conséquences de ne pas endosser les sur-bottes lors du franchissement du banc.

Rendre visible ce qui est invisible. Une deuxième raison concerne la visualisation de ce qui est normalement invisible (cf. figure 28). Nous avons déjà présenté ce sujet lors de l'explication de la procédure du nettoyage des surfaces, et nous proposons un deuxième exemple avec la désinfection des mains.

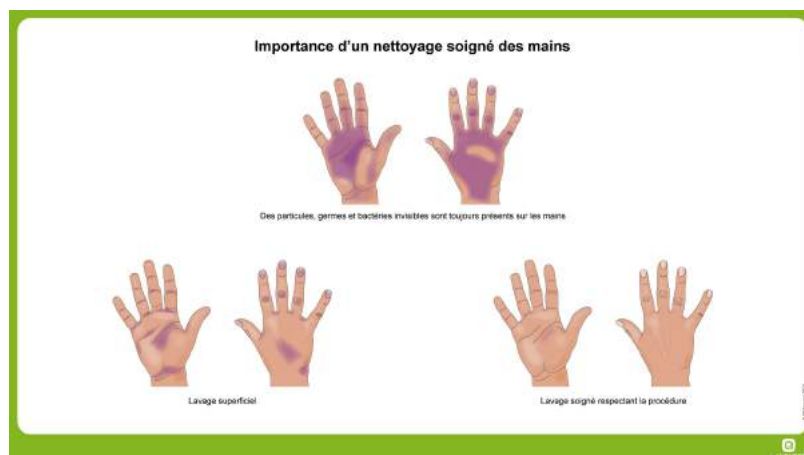


Figure 28 : Illustration POI « importance d'un nettoyage soigné des mains »

Dans cette image, par exemple, il est possible de visualiser, en couleur violette, les zones qui restent encore « contaminées » après une triple désinfection des mains.

Vulgariser le jargon. Une grande importance est accordée aux principes qui régissent les environnements des entreprises pharmaceutiques afin de les maintenir dans un état de propreté maximale. Dans ce but, plusieurs dispositifs de conditionnement d'air sont présents au sein des entreprises (cascade de pression, flux aérauliques). Ces principes ne semblent cependant pas être parfaitement compris et intégrés par les personnes travaillant en zone de production, car ils sont souvent trop théoriques. Pour LabQuest formation, nous avons fait l'effort d'expliquer ces dispositifs aux moyens d'images qui restent non-perceptibles par le système sensoriel humain.

En voici deux exemples :



Figure 29: Illustration POI « Cascades de pression »

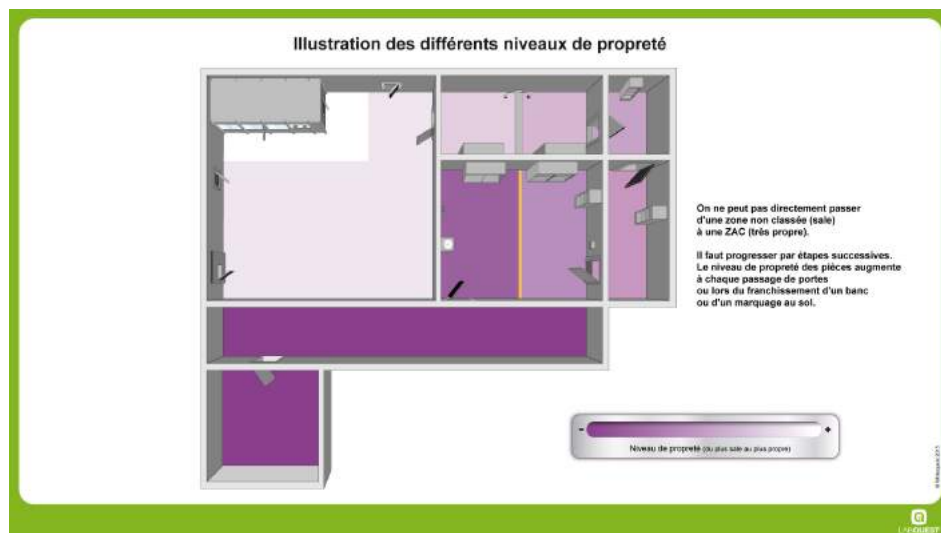


Figure 30: Illustration POI « Différents niveaux de propreté »

Dans la figure 29 il est possible de visualiser le concept de cascade de pression qui dirige le flux d'air (et donc des particules potentiellement contaminantes) du propre vers le sale. En effet, les nuances de bleu symbolisent le niveau de pression (en Bar) présent dans chaque pièce. La figure 30 explique, par contre les niveaux de propreté des différentes pièces composant l'usine.

Rendre concret ce qui est abstrait. Le dernier « escamotage pédagogique » utilisé pour rendre le plus compréhensibles des contenus d'apprentissage est le fait de situer les concepts les plus abstraits dans l'expérience quotidienne de la vie réelle. Par exemple, les manuels des Bonnes Pratiques de Fabrication imposent à l'opérateur de se désinfecter les mains toutes les 15 à 20 minutes sans donner d'explication. Dans l'un de nos contenus de formation, nous prenons le soin d'expliquer à l'apprenant qu'une désinfection toutes les 15 à 20 minutes, est indispensable pour combattre la capacité de reproduction des bactéries sur les mains. Il se trouve que, toutes les 30 minutes, les bactéries doublent leur nombre sur une surface standard. Un autre exemple est celui qui concerne la cascade de pression : il est fondamental d'expliquer que le flux d'air, et donc des particules, suit le même mouvement qu'une cascade d'eau (d'un flux plus fort à un flux de moindre intensité).

6.8. Réglages et retours des *beta*-testeurs - Révision du *Serious Game* à la lumière du modèle du conflit instrumental

Les réglages de l'interface homme-machine et du tutoriel ont été faits à la suite des tests effectués sur deux périodes et deux échantillons différents. Le test d'utilisabilité (*usability test*⁴⁰) a permis d'effectuer une évaluation de l'ergonomie et de la fiabilité de LabQuest qui ne sont possibles qu'à travers l'observation de l'analyse de l'activité de l'utilisateur pendant l'exploration du logiciel.

L'objectif de ces tests consiste à observer respectivement les paramètres suivants :

- l'utilisabilité et la navigabilité du logiciel ;
- les modalités d'interaction avec l'univers virtuel, les objets et l'avatar ;
- l'efficacité du didacticiel ;
- la perception du SG mise en relation avec l'expérience réelle en ZAC.

Un débriefing post-test, relatif au vécu personnel et au ressenti de l'utilisateur, est prévu après l'observation directe de son activité dans le jeu.

L'observation de la navigabilité de notre outil a été réalisée en deux étapes : la première en août 2014, avant la finalisation du logiciel. Cette première évaluation de l'outil de la part des utilisateurs (qui ne sont pas forcément des experts des salles stériles) a permis de tester les modalités d'interaction homme-machine, fondamentales pour l'appropriation de l'environnement 3D. Les résultats des performances aux premiers tests nous ont conduit à ajuster les procédures liées au déplacement du personnage dans l'interaction 3D. Ces premiers tests nous ont permis de vérifier l'ergonomie et l'efficacité du tutoriel conçu pour aider

⁴⁰ Test d'utilisabilité.

l'utilisateur à se familiariser avec l'environnement 3D. En revanche, la deuxième phase d'analyse a seulement été mise en place après la finalisation produit entre septembre et octobre 2014. Cette deuxième batterie de *beta-test* est censé profiler, non seulement les modalités d'interactions homme-machine relatives au *gameplay*, mais aussi de vérifier et de re-pondérer, si nécessaire, l'algorithme de score préalablement défini durant la phase d'analyse des compétences. C'est pourquoi, nous avons recruté pour ce deuxième test, des personnes ayant différentes expériences de travail dans le secteur de la production pharmaceutique.

6.8.1. Beta-Test 1 – Méthodologie d'analyse de l'interaction homme-machine : *Serious Game* LabQuest partiel

Échantillon : pour cette première vérification des fonctionnalités du SG, nous avons noté les performances de 6 personnes :

- 5 personnes à l'aise avec les nouvelles technologies et seulement 1 personne peu à l'aise avec l'utilisation de ces dernières ;
- 3 parmi les 5 personnes maîtrisant les technologies informatiques sont des joueurs de jeux vidéo, les deux autres utilisent les technologies informatiques pour des raisons de professionnelles.

Analyse du didacticiel : pour cette première partie des tests, l'analyse se concentre sur l'activité de la personne dans l'environnement 3D proposé. Nos observations ont été concentrées sur les éléments suivants :

- choix de l'avatar Homme/Femme ;
- utilisation des flèches directionnelles situées sur le clavier en bas à droite pour le déplacement du personnage dans l'environnement 3D ;
- utilisation de la fonction « simple clic gauche » pour la sélection des objets dans l'environnement ;
- utilisation de la fonction « *drag and drop* » pour le déplacement des objets, l'habillage de l'avatar (...) ;
- perception des objets activables et non-activables par le biais de la différenciation des contours lumineux (vert/jaune) ;
- actionnement des menus contextuels et choix des fonctions utiles pour l'activité demandée en zone aseptique ;
- manipulation de l'icône avatar ;
- temps nécessaire à la réalisation du tutoriel ;
- temps nécessaire à la réalisation des opérations d'habillage et aux missions en ZAC (y compris le tutoriel, l'habillage, les manipulations en ZAC et le déshabillage) ;
- modalité, temps de réaction et commentaires durant la phase de notification des erreurs

(film et scène pré-calculée) ;

- notification des erreurs dans le dossier de fabrication.

6.8.1.1. Résultat de l'observation du *Beta-TEST 1*:

Voici un aperçu du tableau récapitulatif (*cf.* tableau 20) des observations faites pendant l'utilisation de LabQuest. Dans ce tableau nous ne présentons qu'un extrait des informations recueillies.

Numéro test/IMH	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5	Sujet 6
Age	27	27	49	30	52	31
Aisance technologies	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui
Joueur jeux vidéo	Non	Oui	Non	Non	Oui	Oui
Choix de l'avatar	F	F	F	M	M	F
Temps tutoriel	5'20"	2'30"	5'21"	3'05"	1'22"	2'50"
Temps global	17' 45"	8'33"	18'23"	19'54"		
Erreurs (Film+ scène)	Non	2 x (sans la modalité correction) résultats 4/10 1° passage 5/10 2° passage le délai perturbe un peu quand l'image change	2 x (avec la modalité correction) elle a tendance à re-cliquer à l'endroit où elle avait déjà cliqué la première fois —> d'où un taux d'erreurs commises élevé. 6/10 est le résultat	1 x aucune difficulté dans le « chercher l'erreur ». La consigne est claire.	Non	Non
Erreurs (Dossier de fabrication)	Non	Elle trouve les erreurs plus visibles ne connaissant pas l'environnement	Non	Il trouve les erreurs plus visibles ne connaissant pas l'environnement	Non	Non
Commentaires	Elle ne voit pas toujours les objets dans la main	Réalisme, anxiété ; frustration pour les mouvements	Hésitation avec quelques objets dans la main. Il faut lui expliquer que les objets dans la main apparaissent dans l'écran en bas à droite	Réalisme, sensation d'anxiété ; pression ; immersion Hésitation avec quelques objets dans la main. Il faut lui expliquer que les objets dans la main apparaissent dans l'écran en bas à droite	Difficile à prendre en main	Réalisme

Tableau 20 : Collecte des données suite à l'observation de l'utilisation de LabQuest

6.8.1.2. Discussion et analyse des résultats suite à l'observation de l'utilisation de LabQuest

Les résultats des observations des tests d'utilisabilité du SG LabQuest montrent des difficultés liées au déplacement du personnage dans l'environnement 3D. En effet, 5 personnes sur 6 (parmi lesquelles nous avons 5 personnes à l'aise avec les technologies, dont une personne qui a l'habitude de jouer aux jeux vidéo) ont des problèmes liés au positionnement correct de l'avatar devant les objets (armoire, éléments de la tenue, registre d'entrée). Cette difficulté serait apparemment liée à l'impossibilité pour le personnage d'avoir un contrôle du champ de vision indépendant du mouvement du corps. Cette situation fait qu'en déplaçant leurs personnages, les utilisateurs sont moins motivés pour l'exploration de l'espace et leurs interactions avec les objets sont réalisées sans prendre en compte de leur distance avec les éléments. C'est là qui survient alors une seconde difficulté : suite à une frustration liée au positionnement de l'avatar, les utilisateurs essaient de se déplacer le moins possible dans l'environnement 3D pour éviter un remplacement approximatif et donc inefficace de l'avatar. Ils réagissent par conséquent avec les objets indépendamment du fait qu'ils soient entourés d'une lumière verte ou jaune (la lumière verte signifie que l'objet peut être actionné et la lumière jaune signifie que l'objet est hors de portée).

Le point de vue exprimé par la personne à l'aise avec les nouvelles technologies et qui a également l'expérience des jeux vidéo est intéressant à souligner : elle ne manifeste pas d'hésitation concernant le déplacement et la maîtrise des espaces 3D. Néanmoins, durant la phase de débriefing, elle exprime une frustration liée au fait de ne pas pouvoir délier les mouvements du regard par rapport aux déplacements effectifs du corps en direction des objets.

De façon globale, la totalité de l'échantillon s'est montré à l'aise avec les fonctionnalités pour saisir un objet par un « simple clic » et les « *drag and drop* »⁴¹, dans le cas d'un déplacement des objets ou endossage des parties de la tenue.

Par ailleurs, les menus contextuels sont bien et rapidement compris par la presque totalité de l'échantillon, avec cependant une hésitation de la part d'une personne (à l'aise avec les technologies mais pas l'habituée de jouer aux jeux vidéo) qui semble bloquée devant la consigne : choisir le menu « actionner le spray ».

Enfin, 4 personnes sur 6 ne comprennent pas la possibilité d'« ouvrir » et de « refermer » l'onglet de l'avatar. Tous parviennent à l'ouvrir car la consigne figure dans le tutoriel, mais seulement 2 personnes sur 6 comprennent que l'onglet peut être refermé.

⁴¹ Glisser et déposer

Nous avons proposé l'étape « chercher l'erreur » à 3 des 6 personnes. A l'une première (peu à l'aise avec les technologies) nous avons proposé la « modalité correction » qui permet de passer l'évaluation à deux reprises, dont la seconde affiche les éléments d'erreur qui ont été détectés lors du premier passage. Nous avons proposé à une autre personne (à l'aise avec les technologies et joueur aux jeux vidéo) de passer l'évaluation à deux reprises, sans la modalité correction. Pour la troisième personne (à l'aise avec les nouvelles technologies mais non joueur de jeux vidéo) l'évaluation n'est proposée qu'une seule fois. L'observation des différentes propositions met en évidence une difficulté pour la personne dans le cas où elle doit utiliser la « modalité correction ». En fait, au deuxième passage de l'évaluation, cette personne manifeste un délai de reconnaissance de l'erreur plus court qu'au premier passage, ce qui la conduit à cliquer une nouvelle fois sur les erreurs qu'elle avait déjà détectées. Cette attitude crée une erreur dans le système qui « efface » la notification des erreurs préalablement détectées.

Le « dossier de fabrication » n'a posé aucun souci au niveau de la compréhension des tâches qui devaient être effectuées. Il n'était évidemment pas possible, pour l'échantillon retenu, de détecter les erreurs fines relatives aux comportements et aux normes liées à l'activité en zone aseptique.

Une information très importante que a été recueillie par rapport au temps nécessaire à la finalisation du tutoriel et celui nécessaire pour la finalisation des opérations d'habillage dans les sas, les opérations en sas et la procédure de déshabillage jusqu'au retour au point de départ. Lors des premiers tests, nous avons remarqué que les temps accordés au tutoriel ne dépassait jamais les 5'30" et que le temps global de la simulation n'était jamais supérieur à 21 minutes.

6.8.1.3. Evolutions du tutoriel suite au *Beta-TEST 1*

A la suite de la passation des tests utilisateurs, nous avons réfléchi aux changements à mettre en œuvre au niveau du *gameplay* et du tutoriel afin de permettre à la personne d'apprendre à manipuler l'environnement 3D. Le changement le plus important a été réalisé au niveau du *gameplay* qui correspond à la modalité de déplacement de l'avatar dans l'environnement. En effet, le nouveau système prévoit la possibilité de dissocier le mouvement de la tête du personnage de celui du déplacement dans l'espace. Comme on peut le remarquer dans la figure 31, l'écran présente quatre zones activables en faisant glisser le curseur sur ces dernières. Ce mouvement permet de pouvoir tourner la tête à droite, à gauche, en bas et en haut. Il est possible, dans un deuxième temps, d'appuyer sur la barre d'espace (ou la flèche ⬆) pour faire avancer le personnage dans la direction que l'on aura choisie préalablement (cf figure 32).

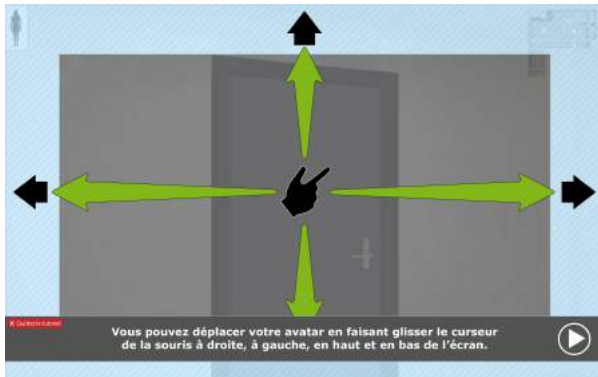


Figure 31 : Ecran de tutorial pour le déplacement du regard



Figure 32 : Ecran de tutorial pour l'avancement

Nous avons également installé une fonctionnalité supplémentaire pour les personnes ayant une maîtrise parfaite de l'outil informatique. Il s'agit de la possibilité de glisser vers la droite et vers la gauche (« en crabe » dans un langage vulgaire) perpendiculairement à la direction de vue du personnage. Ainsi, qu'un autre changement sensible dans la visualisation des objets qui ont été saisis dans l'environnement, et qui doivent donc être visualisés dans un espace de l'écran qui symbolise « les mains » (cf. figure n° 34, p.201)

Nous avons aussi décidé d'éliminer les fonctionnalités d'« attraction du regard » de l'avatar sur les objets qui avaient été mises en place pour faciliter le positionnement du personnage devant l'objet en question. En effet, d'après les tests, ce dispositif n'était pas utile pour l'usager, et empêchait même parfois le déplacement fluide du personnage.



Figure 33 : Ecran de tutorial pour la présentation du plan de l'usine et l'emplacement des différents objets

Au cours du déroulement des tests, nous avons pu recueillir les remarques des usagers qui n'arrivaient pas à avoir une vision globale des activités possibles et des consignes. Aussi, avons-nous réfléchi à la possibilité de permettre à l'utilisateur de visualiser le plan présentant l'emplacement des objets dans les différentes zones de l'entreprise (cf. figure 33).

Enfin, nous avons jugé très utile de présenter un texte introductif explicitait quelles sont les propositions d'outil, les tâches à accomplir et les finalités de l'évaluation. Ces informations sont fondamentales pour faciliter la prise de conscience de l'utilisateur des dispositions et par fonctionnement du logiciel de simulation.

6.8.2. Beta-TEST 2 – Méthodologie d'analyse de l'interaction homme-machine : *Serious Game* LabQuest finalisé

Échantillon : pour tester la deuxième version des fonctionnalités du SG, nous avons demandé à 4 personnes (4 opérateurs de zone aseptique) de réaliser l'évaluation. Parmi ces 4 personnes, nous avons :

- un opérateur de ZAC ayant une carrière très courte dans l'entreprise mais avec un fort potentiel d'évolution puisqu'après seulement deux ans d'activité, il avait la responsabilité du des réglages des machines. Cet opérateur montre aussi une aisance avec les technologies informatiques et possède des expériences d'utilisation de jeux vidéo ;
- une opératrice expérimentée ayant des fonctions de formatrice pour le personnel travaillant en zone aseptique. Elle se montre à l'aise avec les technologies mais elle déclare de ne pas utiliser des jeux vidéo ;
- une opératrice spécialisée dans les opérations de remplissage depuis son entrée en entreprise, sans évolution spécifique. Cette opératrice est visiblement peu à l'aise avec les technologies numériques même si en a déjà eu quelques expériences lors des évaluations annuelles dispensées par CD-Rom.
- un opérateur avec 6 ans d'expérience en entreprise, et qui a déjà assuré des fonctions de supervision et d'encadrement du personnel travaillant dans la zone aseptique. Suite à un changement de lieu de travail pour motifs personnels, il se retrouve à devoir recommencer sa carrière depuis le début, comme opérateur dans une nouvelle entreprise.

Analyse du didacticiel : l'analyse pour cette première partie de tests se concentre sur l'activité de la personne dans l'environnement 3D proposé. Nous avons concentré nos observations sur les éléments suivants :

- choix de l'avatar Homme/Femme ;
- utilisation des flèches directionnelles situées sur le clavier en bas à droite pour le déplacement du personnage et du curseur de la souris sur les bords de l'écran pour donner la direction au regard de l'avatar dans l'environnement 3D ;
- utilisation de la fonction « simple clic gauche » pour la sélection des objets dans l'environnement ;
- compréhension du principe des « ronds » sur l'écran représentant les mains du

personnage ;

- utilisation de la fonction « *drag and drop* » pour le déplacement des objets, l'habillage de l'avatar (...);
- perception des objets activables et non-activables par le biais de la différenciation des contours lumineux (vert/jaune) ;
- manipulation de l'icône avatar ;
- actionnement des menus contextuels et choix des fonctions utiles pour l'activité demandée en zone aseptique ;
- modalité, temps de réaction et commentaires durant la phase de notification des erreurs (film de la procédure d'habillage et scène pré-calculée) ;
- notification des erreurs dans le dossier de fabrication.

En rajout aux éléments déjà modifiés dans le *Beta-TEST 1*, nous avons ajouté les éléments suivants :

- manipulation des objets dans la pièce d'entraînement ;
- manipulation des passe-plats d'assurance qualité et d'alimentation des matériels : de la même manière nous voulons tester la pertinence des icônes relatives aux deux différents types de passe-plats ;
- *gameplay* et modalité de passage et de désinfection du banc ;
- *gameplay* et manipulation de la boîte de Pétri ;
- *gameplay*, manipulation et utilisation du gel hydro-alcoolique et du spray désinfectant

En retrait par rapport aux éléments notifiés dans le compte des *Beta-TEST 1*, nous n'avons pas tenu compte du :

- temps nécessaire à la réalisation du tutoriel ; et du
- temps nécessaire à la réalisation des opérations d'habillage et les missions dans la ZAC (y compris le tutoriel, l'habillage, les manipulations en ZAC et le déshabillage).

En effet, le temps nécessaire à la réalisation de l'évaluation est influencé par les nombreux échanges entre l'administrateur du test et la personne évaluée. C'est pourquoi nous avons préféré ne pas prendre en considération ces paramètres de mesure. Comme nous l'expliquerons par la suite de ces tests, nous avons pu prendre conscience de nouvelles utilisations de LabQuest auxquelles nous n'avions pas pensé initialement.

6.8.2.1. Résultat de l'observation du *Beta-TEST 2*

Voici du tableau 21, qui offre un aperçu des observations faites pendant l'utilisation de LabQuest.

Numéro test /IMH	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4
Age/ profil	Entre 40-45 ans Opérateur depuis 2-3 ans. Déjà responsable des opérations de réglage des machines.	Entre 30-35 ans Responsable de la formation en ZAC des nouvelles recrues.	Entre 50-55 ans Opératrice de base. Bon travail mais pas d'évolution de carrière.	28 ans Opérateur de base venu en France. Il a été opérateur et superviseur pendant 5 ans dans une entreprise pharmaceutique en Italie.
Aisance technologies	Oui	Oui	Non Elle semble connaître le fonctionnement de la souris parce qu'elle clique tout de suite sur le clic gauche. Plus tard elle nous a dit qu'elle a passé plusieurs évaluations sur CD-rom proposées par l'entreprise.	Oui
Joueur jeux vidéo	Il a eu des expériences avec des jeux vidéo mais pas dans les jeux 3D. Je suppose qu'il s'y connaît beaucoup plus que ce qu'il affirme parce qu'il utilise le terme « tutoriel » qui est extrêmement lié aux jeux vidéo.	Elle dit qu'elle ne connaît pas les jeux vidéo et qu'elle n'est pas à l'aise, mais 10 minutes plus tard elle dit « j'ai l'impression d'être dans les SIMS » donc un jeu vidéo avec des avatars et un environnement 3D.	Non, elle n'a pas d'ordinateur chez elle. Elle connaît les jeux vidéo parce que ses enfants y jouent.	Oui, il a beaucoup d'expériences dans les jeux vidéo. Il est très à l'aise avec le <i>gameplay</i> et l'utilisation des touches sur le clavier pour les déplacements.
Passage du banc : //Envisager une modification par rapport à cette problématique (peut être faut-il activer la possibilité de pouvoir déposer les objets sur le banc)	Problème dans la différence de procédure utilisée pour le franchissement du banc et l'ordre d'endossage de la tenue et des sur-bottes. La personne arrive, avec un raisonnement et une verbalisation à haute voix à comprendre comment résoudre le problème du passage du banc et de l'endossage des sur-bottes. Le mécanisme du clic sur le banc n'est pas compris car il n'est jamais expliqué.	Problème dans la différence de procédure utilisée pour le franchissement du banc et l'ordre d'endossage de la tenue et des sur-bottes. La personne est coincée dans sa procédure et ne peut pas prendre du recul sur les bonnes pratiques et les règles qui sont à la base de l'habillement. Le mécanisme du clic sur le banc n'est pas compris car il n'est jamais expliqué.	Le test n'est pas valide. La personne ne comprend pas l'utilisation du banc. Elle verbalise la bonne procédure mais elle ne peut pas réfléchir à une alternative de résolution de son problème. La difficulté dans la manipulation du SG ne peut pas permettre d'aborder la problématique de façon sereine.	Problème dans la différence de procédure utilisée pour le franchissement du banc et l'ordre d'endossage de la tenue et des sur-bottes. A cause de la différence de procédure, nous ne souhaitons pas tester la réponse de la personne pour cette activité. Néanmoins, il a tendance à vouloir déposer la tenue et les sur-bottes sur le banc lors du passage.
Gel Hydro-alcoolique/ spray désinfectant : //Nous devons	La personne n'arrive pas à faire la différence entre le spray qui doit être utilisé pour la désinfection des objets	La personne n'arrive pas à faire la différence entre le spray qui doit être utilisé pour la	Elle a été guidée dans l'évaluation à cause de ses problèmes avec la manipulation du SG.	La personne est renseignée au démarrage de l'évaluation, sur le fait que le spray est

rajouter, au niveau du tutoriel, un écran pour expliquer comment réaliser la désinfection des mains et la désinfection des objets d'une façon générale.

Commentaires

et la solution hydro-alcoolique nécessaire pour la désinfection des mains. La personne essaye d'utiliser le spray désinfectant sur ses propres mains car il a l'impression que cela correspond à la « bombe » qu'il a à disposition dans la ZAC. Une fois qu'on lui dit que le gel hydro-alcoolique doit être utilisé à la place de la bombe pour la désinfection des mains, il arrive à faire abstraction du concept de désinfection des mains et à utiliser l'élément à disposition pour effectuer la même opération.	désinfection des objets et la solution hydro-alcoolique nécessaire pour la désinfection des mains. La personne essaye d'utiliser le spray désinfectant sur ses propres mains car il a l'impression que cela correspond à la « bombe » qu'il a à disposition dans la ZAC. Elle verbalise la procédure correcte à réaliser dans la ZAC sans pouvoir adapter l'usage de la solution hydro-alcoolique à la place de la « bombe » qui est normalement utilisée en usine. Elle n'arrive pas à faire abstraction du concept de désinfection au-delà de la procédure standard qui prévoit l'utilisation des bombes, même une fois qu'on lui a expliqué le fonctionnement. Verbalisation « nous avons l'habitude de... notre procédure est que... »	consacré à la désinfection des objets et que, pour la désinfection des mains, il faut utiliser le spray hydro-alcoolique qui se trouve dans les différents sas et dans la ZAC.
Au moment de cette évaluation, une collaboratrice du pharmacien était présente. Elle a remarqué toutes les problématiques liées au dossier des opérations. Cela veut dire que c'est une compétence liée au poste.	L'évaluation se passe de façon très positive pour cette personne. Avec un ajustement du score relatif à ses pratiques quotidiennes dans son usine il arrive à avoir un score de 75-80%. Ce qui indique un très bon résultat dans le logiciel.	

Tableau 21 : Collecte des données suite à l'observation de l'utilisation de LabQuest

6.8.2.2. Discussion et analyse des résultats de l'observation de l'utilisation de LabQuest

La deuxième partie des *Beta*-tests vise un profil de population qui correspond à des opérateurs plus ou moins expérimentés dans le domaine de la production en zone aseptique.

L'administration des tests se déroule dans des conditions particulières car ils ont été conduits sur les sites des entreprises. Ces tests ont donc également représenté une opportunité pour le client d'avoir un premier aperçu du produit et de ses effets.

A la différence de la première batterie de tests, cette fois-ci, les opérateurs ont été informés des finalités du logiciel et chacun d'entre-eux a bénéficié d'un suivi par un interlocuteur (le chercheur qui administrait le test) qui ne se limitait pas seulement à observer leurs explorations et à les annoter, mais qui échangeait avec eux tout le long de la simulation. L'intérêt de cette nouvelle modalité de réalisation des tests est qu'à travers cette procédure, les opérateurs ont pu en temps réel, communiquer leurs doutes et leurs questionnements concernant les actions qu'ils devaient mettre en œuvre lors de leur activité dans l'environnement 3D. Ce phénomène de verbalisation en temps réel et de mise en parole du cheminement du raisonnement nous a fait prendre conscience des problématiques différentes encore présentes dans cette version *Beta* du SG.

Parmi les quatre tests effectués, nous avons eu le cas d'une femme d'environ 50 ans, dont le test a été complètement invalidé en raison de son incapacité à se projeter dans un environnement 3D et, par conséquent, à manipuler des outils comme la souris et le clavier pour le déplacement du personnage et d'interagir avec les objets dans le SG. Ce manque de maîtrise de l'outil informatique nous a permis de tester le dispositif de détection des difficultés dans la manipulation qui, après 10 minutes d'essai, arrête l'évaluation de façon automatique. Nous avons cependant insisté pour que cette opératrice puisse poursuivre l'évaluation afin de mieux comprendre les difficultés, les perceptions et les modalités d'interaction avec l'outil.

De façon générale, les utilisateurs maîtrisent suffisamment le dispositif lorsque les étapes du tutoriel sont suivies, même si nous avons observé que les consignes proposées sont souvent lues de façon rapide et superficielle. Le déplacement de l'avatar (à l'aide des flèches et de la barre espace) et le déplacement de l'angle de la caméra (à l'aide du curseur de la souris, représentant le regard de l'avatar) ont été rapidement maîtrisés par toutes les personnes ayant une bonne aisance avec l'ordinateur. Cet apprentissage n'a pas été accessible pour la personne n'ayant pas d'expérience avec l'ordinateur.

Le principe des « ronds » représentant les mains du personnage est compris sans aucune hésitation. De la même manière, les utilisateurs n'ont pas de problème avec le mécanisme de *drag and drop* pour déplacer les objets et pour les prendre en main (*cf.* figure 34).



Figure 34 : capture d'écran pour les ronds qui symbolisent les mains

Aussi bien que pour le *Beta-Test 1*, les utilisateurs du *Beta-Test 2* comprennent les menus contextuels mais, à la différence du premier échantillon, ils sont inhibés par le fait de devoir manipuler des objets dans la pièce d'entraînement, alors que « dans la vie réelle » ces objets ne sont pas disponibles dans ces conditions. Les personnes ressentent à ce moment un sentiment de frustration. Elles doivent par conséquent être rassurées par l'administrateur du test afin de poursuivre la simulation. En effet, dès ce moment, elles se sentent comme si elles étaient évaluées, alors que, tout au contraire, cette première pièce est consacrée exclusivement à la manipulation et la prise en main de l'outil informatique.

Lors de la simulation nous avons rencontré deux difficultés : la première concerne l'utilisation du spray désinfectant et des distributeurs de gel hydro-alcoolique ; la seconde se rapporte au passage du banc lors de l'endossage des sur-bottes. En ce qui concerne l'utilisation de la boîte de Pétri dans la machine, nous avons repéré diverses modalités d'utilisation parmi les opérateurs appartenant à des entreprises différentes. Enfin, des incohérences ont été trouvées dans le dossier des opérations. Grâce à cette découverte, nous avons pu affiner ces contenus afin de gagner en cohérence et en réalisme. Nous parlerons de ces aspects dans le paragraphe que nous allons maintenant consacrer aux évolutions de LabQuest.

6.8.2.3. Evolutions de LabQuest suite au *Beta-TEST 2*

L'analyse de ces nouveaux résultats montre que les améliorations que nous avons apportés en tenant compte des résultats du *Beta-Test 1* se sont révélées justifiées et performantes. Elles concernaient des changements tant au niveau du *gameplay* que du tutoriel. Nous avons remarqué en particulier qu'avec le nouveau système intégré de souris plus clavier

les déplacements étaient globalement mieux maîtrisés. Cependant, avec cette nouvelle batterie de tests destinée aux opérateurs travaillant en salle blanche, nous avons pris conscience de certaines incohérences liées à l'environnement 3D reproduisant l'entreprise et, par conséquent, de réfléchir aux modifications envisageables.

Comme nous l'avons signalé dans le précédent paragraphe, nous avons rencontré quatre sources de difficulté :

- Le passage du banc corrélé à l'enfilage des sur-bottes : les participants aux tests ont, à ce niveau, montré une difficulté dans l'exécution de la procédure d'habillage. La procédure utilisée pour le franchissement du banc et l'ordre d'endossage de la tenue et des sur-bottes est sensiblement différente d'une entreprise à l'autre. De plus, à cette occasion, nous avons remarqué que le *gameplay* relatif au passage du banc était moins intuitif que nous l'avions espéré. En effet, nous avons sous-estimé la difficulté que peut ressentir un néophyte lors de l'utilisation de la simulation. Pour l'enfilage des sur-bottes, l'exploration n'a jamais été expliquée dans le tutoriel car nous étions persuadés que les usagers n'éprouvaient pas de difficulté lors de l'exploration des menus contextuels relatifs aux objets et, dans ce cas spécifique, des sur-bottes ou du banc. La difficulté liée à cette action réside dans les différentes procédures qui sont respectivement mises en œuvre dans les différentes entreprises. Aussi, pour résoudre cette difficulté, nous avons conçu une nouvelle modalité de *gameplay* qui permet aux utilisateurs de pouvoir, dans un premier temps, déposer les sur-bottes et la tenue intégrale sur le banc (ce qui semble être la procédure la plus répandue), puis de pouvoir, dans un deuxième temps, l'enfiler avec un *drag and drop*. Cette solution semble respecter les principes et les pratiques de chaque entreprise, en fournissant une meilleure possibilité d'action, d'interprétation et de reproduction des pratiques propres à chacune d'entre-elles.
- La manipulation de la boîte de Pétri : à l'opposé de ce que nous avons prévu dans le développement de la version *Beta 1* de LabQuest, nous avons remarqué que les opérateurs avaient tendance à vouloir cliquer sur la boîte de Pétri afin de l'annoter (heure-datage) lors de son ouverture à l'intérieur de la machine. Aussi avons-nous procédé à des modifications au niveau du score qui permettent à l'utilisateur de cliquer (ou non) sur l'option « annoter la boîte de Pétri » sans pour autant déclencher d'erreur au niveau du score final assurant, par ce fait, une meilleure adaptation des pratiques de chaque entreprise.
- L'utilisation des distributeurs de solution hydro-alcoolique et du spray désinfectant : au cours du déroulement des tests, nous avons remarqué que les utilisateurs étaient tentés de reproduire leurs schémas d'action pareillement à la façon dont ils avaient l'habitude de le faire dans le cadre de leur travail. Ce phénomène a fait naître une « confusion » dans l'usage

des outils présents dans l'environnement 3D. Un cas exemplaire est illustré dans l'utilisation du spray désinfectant et de la solution hydro-alcoolique. En fait, une fois qu'ils ont traversé la zone « non classée » de l'entreprise virtuelle, les utilisateurs se servent du spray hydro-alcoolique pour toute action de désinfection y compris celle pour leurs propres mains, ce qui engendrait une erreur au niveau de l'algorithme de score qui était incapable d'interpréter cette action correctement. Cette difficulté a été résolue en explicitant, lors du tutoriel, les finalités respectives des deux objets : le spray donc, pour toute procédure de désinfection d'objets et la solution hydro-alcoolique (accrochée au mur) pour aseptiser les mains. Cette solution a été validée lors des tests : en effet, après les premières hésitations remarquées chez les utilisateurs, nous les avons invités oralement à utiliser de façon appropriée chaque désinfectant, ce qui leur a permis de comprendre le principe de cette mesure et d'agir en conséquence. Le tutoriel de départ a été par conséquent modifié.

- Le dossier de fabrication au cours la phase de supervision : pendant le test, nous avons réalisé que le dossier de fabrication était un objet très spécifique qui pouvait être vérifié et seulement compris par une personne au profil expérimenté dans le contrôle qualité (AQ). En effet, parmi les usagers, un seul a su trouver la majorité des erreurs proposées et a signalé quelques incohérences de datage et d'horaire dont nous étions nous-mêmes à l'origine de la conception pour des finalités pédagogiques, le but de l'exercice étant de « signaler les erreurs ». D'autres incohérences accidentelles ont été décelées lors de ces tests et rectifiées.

Dans cette deuxième batterie de tests, nous avons abandonné l'idée de mesurer la performance en fonction du temps écoulé durant la simulation, compte-tenu du temps de discussion que nous avons passé avec les utilisateurs. En effet, pendant les observations, nous avons remarqué que les opérateurs avaient tendance à verbaliser à voix haute et à justifier par la parole les actions qu'ils mettaient en œuvre lors de la simulation. Ce constat a débouché sur une discussion qui visait à comprendre les raisons de la réalisation de certaines procédures par rapport à d'autres. Aussi, avons-nous encouragé l'échange et la verbalisation afin de pouvoir en tirer des données plus approfondies, tout en négligeant la variable « écoulement du temps ».

L'un des effets majeurs de cette deuxième batterie de test a été son impact sur l'algorithme de score. A cette occasion, nous avons remarqué que les scores des tests étaient réellement peu représentatifs. Nous avons par conséquent repris et retravaillé l'algorithme de score afin de gagner en discrimination et en sensibilité vis-à-vis de la performance des opérateurs.

6.8.3. Des résultats inattendus

Au cours des tests utilisateurs, nous avons pu remarquer que, grâce à la variabilité des procédures adoptées par les différentes entreprises et les standards de LabQuest, les personnes

pouvaient être conduites à développer une réflexion sur les raisons de l'adoption de certaines d'entre-elles. En effet, les opérateurs se trouvaient devant une procédure qui était légèrement différente de celle qu'ils utilisaient dans leur quotidien. Grâce à leurs verbalisations à voix haute, nous avons pu prendre connaissance et analyser le cheminement de résolution de problèmes des utilisateurs. Ces tests nous ont aussi permis de répartir en deux catégories les profils des opérateurs travaillant en zone aseptique : d'une part ceux qui ont besoin de connaître la raison de la réalisation de telle ou telle procédure et, de l'autre, les opérateurs qui appliquent une procédure « standard » sans chercher à savoir quels en sont les principes de base. Grâce aux verbalisations et au-delà du niveau mesurable des performances, nous avons pu nous faire une idée du niveau de maîtrise des connaissances des principes qui sont à la base des procédures employées.

Les résultats du *Beta-Test 2*, nous ont permis de concevoir de nouvelles applications et de nouvelles évolutions de LabQuest, qui peuvent être utilisées non seulement comme outils d'évaluation, mais aussi avec beaucoup de succès pour la formation. Cette utilisation « détournée » du dispositif qui, à l'origine était destinée à mesurer les réflexes comportementaux de la personne évaluée, est donc devenu un outil permettant de favoriser l'interaction entre deux ou plusieurs personnes.

Résumons donc la liste des utilisations possibles de LabQuest :

a) Exploration libre :

- L'apprenant se déplace librement dans la ZAC, il peut se familiariser avec la pièce et avoir une première rencontre virtuelle avec l'environnement dans lequel il devra travailler.
- Le collaborateur passe l'évaluation en solitaire pour se mettre à l'épreuve et obtenir un diagnostic de ses compétences.

b) En mode évaluation :

- Sans retour : l'évaluateur (ou le formateur) demande au collaborateur de réaliser l'évaluation en un temps limité sans aide ni retour d'information (modalité embauche ou contrôle).
- Avec retour : l'évaluateur (ou le formateur) demande au collaborateur de passer l'évaluation en un temps limité. Une fois l'évaluation terminée, l'évaluateur et l'évalué ont un échange verbal sur les résultats obtenus au test.
- Exploration motivée par une ou plusieurs questions : l'évaluateur (ou le formateur) accompagne le collaborateur dans l'exploration de l'entreprise virtuelle tout en ayant une discussion ouverte et un échange verbal concernant les différentes problématiques

abordées.

c) En mode formation :

- Résolution de problèmes : le formateur prépare un scénario *ad hoc* pour présenter des problématiques et travailler sur ces dernières avec les collaborateurs. Le processus de résolution de problème (*problem solving*) peut, dans ce cas-là, être conduit selon les exigences spécifiques du formateur à un moment donné (résoudre un problème dans la ZAC : absence de gants, absence de sachet⁴² de bouchons, objet déposé de façon non correcte sur une paillasse, *etc.*).
- Résolution de problèmes en groupe de discussion : le formateur anime la discussion au sein d'un groupe de collaborateurs en pilotant la simulation. Il choisit les thèmes à aborder et utilise la simulation comme support à la discussion. La discussion et l'échange de pratiques parmi les opérateurs et le formateur. Le rôle de pilotage et d'animation du SG peut également être assuré par l'un des opérateurs.

6.9. L'utilisation de LabQuest en entreprise pharmaceutique

Dans la plupart des situations, le déploiement d'un nouveau produit ne correspond pas aux attentes des concepteurs. Dans le cas de LabQuest, sa commercialisation n'a commencé qu'après plus d'un an après son lancement. Les raisons de cette lenteur sont à relier principalement à deux facteurs : d'une part, le cycle décisionnel des entreprises pharmaceutiques pour l'acquisition d'un nouveau prestataire dure en moyenne de 12 à 24 mois ; d'autre part, nous avons été confrontés à une partielle insatisfaction des responsables hiérarchiques des entreprises clientes liée au fait que l'architecture de l'entreprise virtuelle LabQuest n'était pas exactement calquée sur les leurs et à leur crainte que les personnels éprouveraient des difficultés dans la transposition des procédures. Effectivement, si d'un côté la transposition virtuelle d'un environnement peut permettre aux personnes formées de situer leur processus de résolution de problèmes, d'un autre côté, ces mêmes personnes n'arrivent pas à prendre de la distance par rapport à l'environnement et soulignent alors les incohérences avec leurs environnements quotidiens. Toutefois, cette crainte, s'est effectivement résolue avec l'implémentation du logiciel dans les usines qui a montré, non seulement que les opérateurs n'étaient pas gênés par les différences architecturales, mais qu'au contraire la confrontation avec cet environnement « différent du leur » les conduisait à un processus de co-construction de savoir dérivé de la comparaison des environnements entre-eux. Néanmoins, afin de rassurer les formateurs sur ces aspects, nous avons dû mettre en œuvre une action de support pédagogique

⁴² Dans l'entreprise pharmaceutique on utilise le terme « sachet » plutôt que celui de sachet, vu les dimensions et les usages qu'ils sont faits de cette dernière.

et d'accompagnement des formateurs dans l'animation de leurs formations. A ce jour LabQuest est à utilisé comme support de formation collective qu'individuel. En effet, à la différence des formations traditionnelles, une plus-value perçue par les formateurs réside dans la facilité de susciter des échanges et des discussions en cours de session de formation. De ce fait, LabQuest n'est pas utilisé pour la formation individuelle ni comme outil d'évaluation (ce pourquoi il avait été conçu au départ) mais comme support d'animation de formation avec la possibilité laissée à chaque apprenant d'explicitier son expérience et sa pratique personnelle ou ses problèmes vécus. Dans ce cadre, le formateur abandonne son rôle transmissif et se positionne dans un rôle de questionneur, une espèce de « *maître ignorant* » (pour reprendre l'expression de Rancière, 1987). Les personnes formées, se sentent quant-à-elles libres d'exprimer leurs incertitudes par rapport à la démarche de production proposée par la formation et, par analogie, expriment les points critiques qu'elles retrouvent dans leur travail quotidien. De plus, en quittant la formation, elles s'expriment satisfaites et déclarent avoir espéré de pouvoir prolonger leur formation dans la durée. Si, d'une part, la formation n'était pas l'utilisation initiale pour laquelle le SG LabQuest avait initialement été conçu, nous sommes, en revanche, confrontés à un phénomène de détournement partiel du dispositif pour une finalité d'échange et de communication. Ce détournement pourrait, en fait, être le symptôme d'un sentiment d'isolement social que l'opérateur en salle blanche ressentirait dans sa pratique quotidienne. Toutefois, cette hypothèse demande à être vérifiée. En outre, lors des formations que nous-même avons animées en tant qu'experte pédagogique de la société WhiteQuest, nous avons été témoin de certaines réactions tout à fait impressionnantes provenant des opérateurs. Ainsi, un homme ayant 15 ans d'ancienneté dans l'entreprise affirme : « *le flux laminaire est présent partout, même dans les sas d'habillage* »⁴³, alors qu'autre ne savait pas répondre à la question : « *qu'est-ce qu'une boîte de Pétri* ». Ces deux exemples montrent que même après de nombreuses années d'activité, il n'est pas rare de rencontrer des opérateurs qui manifestent des incohérences ou des incompréhensions au sein des environnements professionnels dans lesquels ils travaillent. C'est précisément en raison de ce constat que nous avons développé une formation des formateurs qui vise à un changement de posture, elle-même participative et non directive ou de transfert d'informations. A cet effet, nous avons conçu, au sein de la société WhiteQuest, un cahier d'exercices d'une durée de 20 minutes à 2 heures, proposant des exercices divers et variés qui peuvent être réalisés avec LabQuest.

⁴³ Un flux laminaire est un flux unidirectionnel qui se trouve dans les zones classées A. Normalement il est confiné aux zones interne à la machine, parfois il déborde légèrement de la machine, dans ce cas nous pouvons parler de flux laminaire débordant.

PARTIE EMPIRIQUE : L'ETUDE DE LABQUEST SUR LE TERRAIN

Dans cette troisième partie, nous nous proposons de mettre en œuvre deux protocoles expérimentaux dans le but de comprendre si les défis, à la fois industriels et scientifiques ont été satisfaits grâce à la conception de ce SG.

Dans le chapitre 7.1 nous présenterons le protocole expérimental que nous avons mis en œuvre pour tester les deux propositions de l'hypothèse 1 concernant une meilleure efficacité du SG vis-à-vis du développement des connaissances et compétences professionnelles des opérateurs des entreprises pharmaceutiques, par comparaison aux méthodes d'apprentissages traditionnellement employées en formation.

Dans le chapitre 8.1, il s'agira de présenter le protocole expérimental que nous avons élaboré pour tester les deux propositions de l'hypothèse 2 qui vise à vérifier la pertinence du modèle de l'adaptation instrumentale que nous avons exposé à l'issue de la partie théorique portant sur l'apprentissage avec les technologies numériques et, plus précisément, sur l'acquisition des artefacts.

7. Exploration du Serious Game

Lorsque le SG sera terminé, notre objectif sera d'étudier son efficacité, ses points forts et ses zones d'amélioration afin, notamment, de comprendre quels sont les avantages que ce SG peut offrir par rapport aux méthodes traditionnelles de formation.

Nous ne pouvons cependant pas mettre en œuvre une méthodologie d'observation directe dans les entreprises utilisant LabQuest pour de nombreuses raisons :

- il est difficile d'accéder au terrain d'utilisation de LabQuest dans les entreprises pharmaceutiques car elles n'acceptent pas l'intrusion de tiers pour l'étude de la performance de leurs salariés ;
- une analyse *in vivo* des formations avec le SG réalisées avec le personnel des entreprises pharmaceutiques effectuée au moyen d'observations en présentiel et des enregistrements filmés par caméra, et la présence éventuelle de membres de leur direction provoquerait un niveau trop important de stress qui pourrait interférer sur la collecte des données ;
- il est impossible de contrôler l'impact des autres formations reçues, des années d'ancienneté et d'expérience des opérateurs, et ignorer que leurs performances au SG pourraient y être corrélées.

Nous ne pourrions pas non plus vérifier l'efficacité de LabQuest sur la production pharmaceutique et sur la lutte contre déviations par rapport aux normes prescrites en raison d'un processus de commercialisation très lent. Néanmoins, sur la durée, nous espérons qu'avec le déploiement de LabQuest dans les différentes entreprises françaises et étrangères, pouvoir recueillir les données sauvegardées sur les serveurs concernant :

- la fréquence de connexion de chaque utilisateur et son niveau de progression ;
- la fréquence de connexion de l'ensemble des utilisateurs de l'entreprise et leur niveau de progression ;
- les formations suivies et les POI (*Points Of Interest*) consultés, corrélés avec le niveau de progression des opérateurs ;
- la performance des opérateurs utilisant LabQuest corrélée avec les éventuels retraits de lots.

Ces données futures, que nous ne pourrions pas observer lors de notre thèse, pourront être croisées avec les différentes variables pour vérifier l'efficacité du produit dans la lutte contre les déviations⁴⁴. De plus, le contact et les échanges réguliers avec les clients pourront nous donner

⁴⁴ Dans le langage pharmaceutique, une déviation est un phénomène qui ne respecte pas les normes de production. Ce phénomène peut donner lieu à des anomalies qui souvent amènent à un retrait ou à une destruction du lot.

une indication concrète sur leur niveau de satisfaction par rapport au logiciel. Nous parlons dans ce cas de méthodologie *in vivo*.

Une deuxième méthodologie *in vitro* pourra être utilisée pour apporter des réponses concernant l'efficacité du SG dans l'acquisition des compétences professionnelles et leur transposition dans la réalité du travail. Cette méthodologie, que nous allons expliquer dans le présent chapitre servira, entre autre, à vérifier la pertinence de l'usage du SG par rapport à la théorie du conflit instrumental et, ultérieurement, celle de l'adaptation instrumentale. Réalisée *in vitro*, cette méthodologie nous permettra également d'éviter les problèmes liés au contrôle des variables relatives à l'influence de l'expérience et de l'ancienneté du personnel travaillant dans les entreprises pharmaceutiques.

7.1. Protocole d'observation et collecte des données

7.1.1. Les enjeux du protocole – rappelle des hypothèses

De quelle manière les compétences acquises au moyen du SG et par la formation traditionnelle sont-elles transférées sur le terrain de l'activité professionnelle quotidienne ? Quel impact la formation (LabQuest vs traditionnelle) a-t-elle sur la performance des sujets au post-test ? Peut-on dire qu'une formation est plus efficace que l'autre ?

Pour répondre à ces questions, nous devons, tout d'abord, expliquer de quelle manière nous pensons mesurer le développement des compétences. En effet, dans la partie théorique de notre travail, nous avons argumenté l'impossibilité de mesurer les compétences car elles sont constituées de ressources qui vont au-delà de la simple performance. Néanmoins, selon la didactique professionnelle, une compétence pourrait être considérée comme l'ensemble des ressources qui sont mobilisées autour d'un concept organisateur (ou un invariant opératoire) afin de réaliser un geste professionnel. Toutefois, si nous considérons le phénomène du point de vue des recruteurs, nous verrions que, afin de pouvoir travailler en zone aseptique, l'opérateur devrait faire preuve de l'acquisition de certaines procédures, gestes et connaissances relatives à l'activité de travail en Zone à Atmosphère Contrôlée (ZAC). Pour ces raisons, nous nous limiterons à observer l'évolution des performances réalisées par les apprenants qui seront ainsi mesurés en pré et post-test. En outre, nous essayerons de comprendre quel est l'effet de la formation sur le développement de l'esprit critique des personnes formées, notamment pour la détection de comportements et de situations non-conformes chez une tierce personne. Dans ce but, nous recruterons un échantillon de personnes néophytes du travail en zone aseptiques afin de maîtriser les variables « expérience » et « formation » au sein de leur entreprise.

Pour répondre à ces questions nous nous proposerons donc d'observer :

- L'impact de la formation proposée (LabQuest vs traditionnelle) sur la performance des apprenants.
- L'impact de la formation proposée (LabQuest vs traditionnelle) sur le développement du regard critique vis-à-vis des non-conformités (par exemple, la détection des erreurs effectuées par une tierce personne).

De plus, il nous paraît essentiel d'observer la manière dont les contenus pédagogiques sont intégrés et appris et, en particulier, de déceler quels sont les phénomènes inattendus et périphériques qui se profilent durant l'exploration du SG.

Pour mémoire, rappelons les hypothèses qui sont à l'origine de la conception de notre protocole expérimental :

1a) La conception d'un outil d'évaluation et de formation sous forme de SG, dirigée par les choix et la déclinaison optimale des trois types d'artefacts (didactique, pédagogique, technique), ne présente pas de conflit instrumental, mais ajoute en revanche une valeur pédagogique à l'outil qui n'est pas atteignable par les méthodes traditionnelles d'évaluation.

1b) Dans le cadre de l'acquisition des compétences, nous affirmons que l'apprentissage des procédures fait par le biais d'un SG offre une valeur pédagogique qui n'est pas atteignable par les méthodes traditionnelles de formation. En d'autres termes, dans leur vie réelle, les personnes formées avec LabQuest réalisent de meilleures performances, dans la vie réelle, que les personnes qui ont été formées avec des méthodes traditionnelles (vidéo, QCM, PPT).

7.1.2. Le déroulement du protocole expérimental principal

La figure 35 ci-dessous résume le protocole que nous avons mis en œuvre.

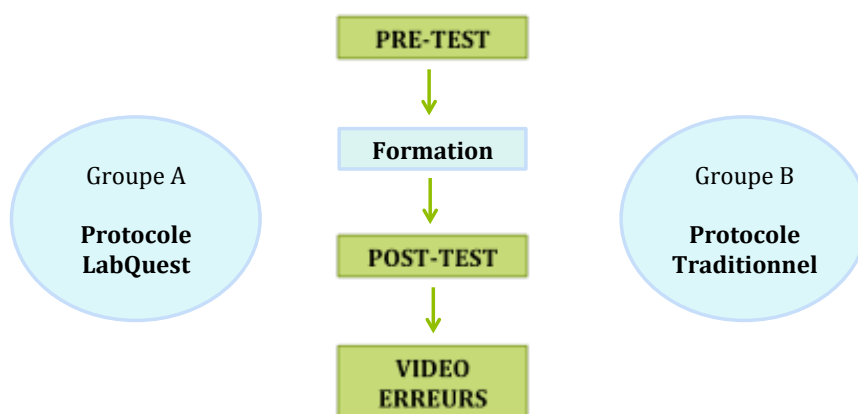


Figure 35 : *Protocole expérimental principal*

7.1.2.1. Choix de l'échantillon

Le critère fondamental pour le choix des participants à l'étude était la non-connaissance du milieu pharmaceutique de la part des sujets. Dans le cas contraire, nous n'aurions pas pu contrôler la variable « expérience » ni celle de « connaissance » des ces derniers en matière de production en environnement aseptique. Nous avons cependant essayé de maintenir l'équilibre de genre homme/femme de l'échantillon. Nous avons rencontré des fortes difficultés à recruter des personnes non familiarisées avec les technologies informatiques, étant donné leur diffusion au sein de la population.

7.1.2.2. Le pré-test

Un pré-test a été administré à l'intégralité de l'échantillon (45 personnes). Il consistait dans la réalisation de deux procédures caractérisant une journée-type de production dans une entreprise pharmaceutique :

PRÉ-TEST A : Procédure de nettoyage d'une surface.
L'objectif de cet exercice était de réaliser une procédure de nettoyage d'une surface. Dans ce but, le sujet avait à sa disposition une vitre, un gel désinfectant pour les mains, un produit désinfectant pour les objets, des lingettes. Pour réaliser cette tâche, aucune information complémentaire ne lui avait été donnée.
PRÉ-TEST B : Procédure de changement de la boîte de Pétri.
L'objectif de cet exercice était de réaliser une procédure de substitution de la boîte de Pétri. Dans ce but, le sujet avait à disposition une armoire avec des portes vitrées (qui simulait les vitres du RABS), des boîtes de Pétri, un stylo, du gel désinfectant pour les mains. Pour réaliser cette tâche, aucune information complémentaire ne lui avait été donnée.

Tableau 22 : Pré-test lors du protocole expérimental

7.1.2.3. La formation

Dans cette phase du protocole, l'échantillon a été divisé en deux groupes : à l'un, il a été proposé une formation « traditionnelle » consistant en une procédure tirée du manuel des BPF (Bonnes Pratiques de Fabrication), à l'autre, il a été proposé une formation avec le SG LabQuest. Les descriptions détaillées des protocoles de ces formations figurent dans le tableau 23 :

Formation traditionnelle	Formation LabQuest
TEST A : Il a été demandé au sujet de lire, sans aucune consigne complémentaire, un extrait des procédures décrites dans le manuel des bonnes pratiques de fabrication, traitant les points les plus importants pour la réalisation des procédures faisant l'objet de l'apprentissage.	TEST A : Il a été demandé au sujet d'explorer l'environnement virtuel reproduisant la zone de production. Le parcours à réaliser était indiqué par un système de signalétique sous forme de « pins » traitant les sujets les plus importants pour la réalisation des procédures faisant l'objet de l'apprentissage.
TEST B : Il a été demandé au sujet de lire et d'apprendre par cœur la procédure de substitution d'une boîte de Pétri sur un support papier.	TEST B : Il a été demandé au sujet de lire la procédure de substitution d'une boîte de Pétri en l'appliquant simultanément dans le SG.

Tableau 23 : Formation lors du protocole expérimental

Comment les contenus des deux protocoles ont-ils été choisis ?

Les deux protocoles de formation (LabQuest et traditionnel) ont fait l'objet d'un travail très important d'homogénéisation respective des contenus pédagogiques de l'un et l'autre support. En effet, s'agissant de deux supports de formation hétérogènes, nous avons été attentifs à ce que les informations contenues dans les différents supports soient très proches les uns par rapport aux autres. Il est fréquent, dans ce milieu, que le même objectif puisse être atteint par deux procédures légèrement différentes. Tel a été le cas pour la procédure de nettoyage de la vitre. En effet, dans le manuel des Bonnes Pratiques de Fabrication (qui a été le document support à l'origine de notre protocole traditionnel), la procédure de nettoyage d'une surface diffère légèrement de celle que nous avons sélectionnée et intégrée dans l'outil de simulation. Dans le premier cas, la procédure impose la pulvérisation du spray désinfectant directement sur la lingette alors que dans le deuxième, la procédure prévoit que l'opérateur pulvérise le spray désinfectant directement sur la surface à nettoyer. Les experts de la production en milieu aseptique nous ont confirmé qu'il n'y a pas de différence de résultats en termes de qualité de désinfection entre ces deux variantes de procédure.

De ce fait, les différences entre les procédures ont été traitées dans leurs spécificités lors de l'observation et de la collecte des données. En effet, la modalité d'aspersion de la solution hydro-alcoolique lors du pré-test n'a pas fait l'objet d'une évaluation. Néanmoins, nous avons évalué la procédure de post-test selon des critères propres à chaque protocole : pour le protocole LabQuest, nous avons considéré comme étant correcte, l'action de « pulvériser le spray désinfectant directement sur la surface à désinfecter » alors que, dans le protocole traditionnel, nous avons considéré comme étant correcte l'action de « pulvériser le spray désinfectant sur la lingette ».

7.1.2.4. Le post-test

Un post-test en deux parties a été administré à l'ensemble de l'échantillon. Ces exercices consistent en l'exécution des deux procédures déjà proposées dans la phase de pré-test. La description de ces procédures figure dans le tableau 24. Les consignes données aux sujets restent, en définitive, les mêmes.

POST-TEST A : Procédure de nettoyage d'une surface
L'objectif de cet exercice était de réaliser une procédure de nettoyage d'une surface. Dans ce but, le sujet avait à disposition une vitre, un gel désinfectant pour les mains, un produit désinfectant pour les objets, des lingettes. Pour réaliser cette tâche, aucune information complémentaire ne lui avait été donnée.
POST-TEST B : Procédure de changement de la boîte de Pétri.
L'objectif de cet exercice était de réaliser une procédure de substitution de la boîte de Pétri. Dans ce but cette procédure, le sujet avait à sa disposition une armoire avec des portes vitrées (qui simulait les vitres du RABS), des boîtes de Pétri, un stylo, du gel désinfectant pour les mains. Pour réaliser cette tâche, aucune information complémentaire ne lui avait été donnée.

Tableau 24 : Post-test lors du protocole expérimental

7.1.2.5. Vidéo d'observation

Il a été proposé à l'ensemble de l'échantillon d'observer une vidéo présentant l'activité de deux personnes pendant une journée-type de production. Les opérateurs réalisent certaines procédures de façon correcte, d'autres de façon erronée. L'objectif pour le sujet est de juger ouvertement de la qualité des choix et des actions accomplies. De plus, il est demandé aux sujets de signaler les éventuelles erreurs qu'ils observent chez les opérateurs tiers présents dans la scène animée. L'intérêt de l'exercice consiste dans la vérification de la perception des erreurs de la part des sujets auxquels cette vidéo est proposée.

7.1.3. Méthode d'observation et de recueil des données

Le déroulement du test a été méthodiquement et intégralement enregistré afin de sauvegarder toutes les données produites (vidéo, audio *etc.*). Nous allons l'expliciter davantage :

- toutes les procédures effectuées dans la phase de pré et de post-test ont été enregistrées grâce à une caméra positionnée sur un pied, placée de façon à pouvoir reprendre les exercices A et B sans devoir la déplacer ;
- nous avons complété l'enregistrement vidéo (en phase de pré et de post-test) par des grilles d'observation. En effet, une fiche d'observation a été remplie afin de noter l'exactitude de la réalisation de chaque tâche composant la procédure. Ces notes ont été prises simultanément à l'enregistrement afin de sécuriser les données en cas d'erreur au démarrage de la prise

vidéo, d'une défaillance de la batterie de la caméra, *etc.* (ce qui, c'est malheureusement vérifié dans certains cas) ;

- un système d'enregistrement de l'écran et du son a été mis en place pendant la réalisation des formations effectuées avec LabQuest. En ce qui concerne la formation traditionnelle, seul le son a été enregistré grâce à un dictaphone, afin de garder une trace des commentaires effectués par les sujets pendant la formation.

7.1.3.1. Observation pendant le test

Dans le tableau 25 ci-dessous nous décrivons les modalités d'observation qui ont été mises en œuvre durant la réalisation des tests.

Test traditionnel	Test LabQuest
Le chercheur observe le sujet en train de lire le document. Pendant ce temps il note tous les commentaires et les questions qui sont posées. D'autres notes peuvent être prises, relatives, par exemple à des attitudes, des comportements <i>etc.</i>	Le chercheur observe l'activité du sujet dans l'environnement 3D. Un logiciel de capture d'écran, disponible dans l'ordinateur, a permis d'enregistrer l'activité réalisée dans le SG. L'enregistrement audio synchrone a permis, de la même manière, de garder une trace des commentaires, des interactions et des réactions des sujets.

Tableau 25 : *Observations mises en place lors du protocole expérimental*

7.1.3.2. Informations complémentaires

Avant l'administration des tests, nous avons demandé aux participants de fournir les informations suivantes :

- leur âge ;
- leur sexe ;
- leur niveau d'aisance dans l'usage des technologies informatiques ;
- leur usage des jeux vidéo.

De plus, nous avons demandé à chacun des sujets participant à l'expérience de compléter un questionnaire ISALEM-97, permettant de déterminer quelle est l'orientation d'apprentissage prédominante. ISALEM-97 (Inventaire des Styles d'Apprentissage du Laboratoire d'Enseignement Multimédia) est un questionnaire qui a été conçu en 1997 par l'équipe pluridisciplinaire du Laboratoire d'Enseignement Multimédia (LEM) de l'Université de Liège. Il permet de connaître l'orientation d'apprentissage d'une personne. Les fondements théoriques de ce questionnaire sont à rechercher dans la théorie de l'apprentissage expérientiel de Kolb (1984). Comme le « *Learning-Style Inventory* » (LSI), l'ISALEM-97 propose des situations rencontrées aussi bien dans les situations d'apprentissage scolaire, que dans la vie de tous les jours. Pour chaque situation proposée (12 items pour ISALEM, mais seulement 9 pour le LSI), le

sujet doit classer les réactions proposées (correspondant chacune à l'un des styles d'apprentissage) selon sa façon habituelle de réagir aux situations similaires. Dans ce but, la personne doit attribuer un chiffre (de 1 à 4) à chacune des réponses données sachant que le 1 correspond à « c'est tout-à-fait moi » et le 4 à « c'est rarement moi ».

7.1.4. Codage des données

Toutes les données recueillies ont été traitées avec un logiciel d'analyse des données SPSS⁴⁵.

7.1.4.1. Observation des pré et des post-tests

Une échelle nominale

Pendant l'activité du sujet en phase de pré-test et de post-test, le chercheur remplit une grille d'observation composée d'une liste exhaustive de tous les gestes nécessaires à l'exécution de la procédure. Les procédures sélectionnées ont été décomposées en une série de tâches simples (micro-tâches) qui doivent être accomplies. Chaque tâche réalisée par le sujet a été jugée sur une échelle nominale. Elles peuvent être jugées comme : « bien exécutée », « mal exécutée », « bien exécutée, mais au mauvais moment », *etc.* (voir plus haut, le protocole de test). Cette évaluation est réalisée par le chercheur-observateur en conformité avec les procédures décrites dans les manuels des Bonnes Pratiques de Fabrication (ou en anglais *Good Manufacturing Practices GMP*).

L'activité des sujets en train d'effectuer les procédures en phase de pré et de post-test a été enregistrée par une caméra. Celle-ci a été positionnée de façon à pouvoir filmer la réalisation des deux procédures sans que le sujet ne soit dérangé ou interrompu.

Un score de réussite

Dans un second temps, nous avons attribué une note à chaque procédure réalisée. La procédure de « nettoyage d'une surface » a été évaluée par un score de 1 à 7 (car elle était composée de 7 tâches), la procédure de substitution de la boîte de Pétri a été évaluée par une échelle de score de 1 à 13 (car elle était composée de 13 tâches). L'ensemble des procédures donne, par conséquent, un score total sur 20 points.

Les erreurs signalées par les sujets pendant l'observation de la vidéo sont considérées, sur la base d'une échelle nominale, comme : « erreur pertinente signalée », « erreur non-pertinente signalée », « erreur pertinente non signalée » et « erreur non-pertinente non-signalée ». En effet,

⁴⁵ SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) est un logiciel produit par IBM utilisé pour l'analyse statistique.

pendant l'exercice, nous avons observé que les sujets néophytes signalaient comme « fausses » des procédures considérées comme étant correctes par les BPF. De ce fait, nous avons jugé très important de faire la différence entre les « erreurs pertinentes » et les « erreurs non pertinentes ». Nous considérons comme « erreur pertinente » un geste et/ou un comportement non-conforme aux normes GMP⁴⁶. Nous considérons comme « erreur non-pertinente » un geste et/ou un comportement ayant été jugé comme faux par une personne non experte mais qui, de manière contre-intuitive, est conforme aux normes GMP. Par exemple, le fait d'appuyer une boîte de Pétri contre la poitrine est considéré comme erreur par un observateur non expert. Ce geste est cependant indispensable pour réaliser le contrôle bactériologique de la tenue de l'opérateur et pour tracer les éventuelles non-conformités dans la production (dans le cas où, par exemple, le niveau de contamination de la tenue de l'opérateur est supérieur à la limite tolérée).

La totalité des données recueillies à partir des enregistrements de l'écran et audio, pendant la visualisation de la vidéo, a été retranscrite. Ces mêmes données ont été utilisées pour l'analyse qualitative qui sera présentée plus loin. Les résultats de cette étude ont déjà fait l'objet d'une publication dans le journal PTHP (Pharmaceutical Technology in Hospital Pharmacy) en 2016 (Denami, 2016)

7.2. Résultats de l'analyse de l'efficacité du Serious Game comme outil de formation

7.2.1. Echantillon

Notre protocole de test a consisté en l'observation des activités proposées à un échantillon de 45 sujets d'âge, de profession et de niveau de diplôme différents.

Dans les tableaux qui suivent nous fournissons les informations concernant :

- l'âge des participants au test ;
- la répartition homme/femme dans l'échantillon ;
- la distribution des stratégies d'apprentissage des individus obtenues au test ISALEM-97 (adaptation française du test de Kolb 1984) ;
- l'usage des technologies informatiques dans la vie quotidienne des participants ;
- l'usage des jeux vidéo de la part des sujets.

⁴⁶ GMP : Good Manufactory Practices : traduit en français par « Bonnes Pratiques de Fabrications »

Age	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
19	1	2,2	2,2
20	2	4,4	6,7
21	2	4,4	11,1
23	4	8,9	20,0
24	2	4,4	24,4
25	1	2,2	26,7
26	7	15,6	42,2
28	2	4,4	46,7
29	6	13,3	60,0
30	2	4,4	64,4
31	3	6,7	71,1
32	4	8,9	80,0
33	2	4,4	84,4
34	1	2,2	86,7
35	1	2,2	88,9
36	1	2,2	91,1
38	1	2,2	93,3
39	1	2,2	95,6
51	1	2,2	97,8
52	1	2,2	100,0
Total	45	100,0	

Tableau 26 : Distribution des fréquences des âges des sujets ayant participé aux tests

Il était important de s'assurer que les participants n'avaient aucune connaissance préalable de la production en zone aseptique ou des BPF. En effet une familiarité avec ces milieux aurait pu biaiser les performances et, en définitive, les résultats des tests.

La figure 36 donne la courbe de distribution des âges des sujets ayant participé à l'étude.

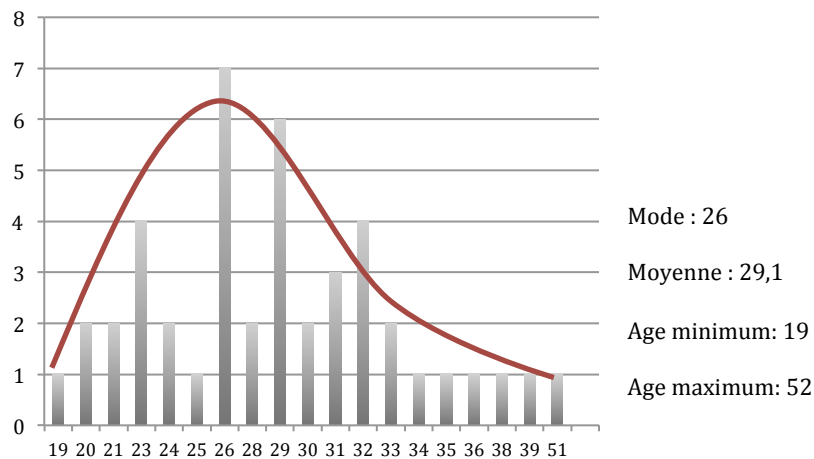
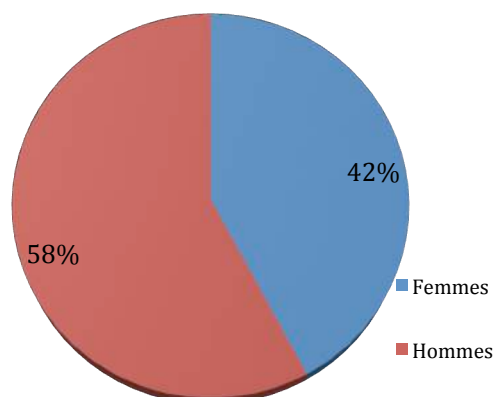


Figure 36 : Distribution des fréquences des âges des sujets ayant participé aux tests

Le sujet le plus jeune avait 19 ans et le plus âgé 52. La moyenne d'âge était de 29,1 ans. Concernant le mode, nous avons un pic de sujets de 26 ans avec un deuxième pic de sujets de 29 ans.



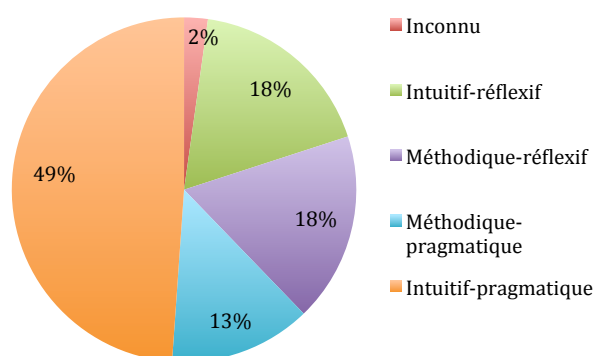
Age	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Femmes	19	42,2	42,2
Hommes	26	57,8	100,0
Total	45	100,0	

Figure 37 : Distribution des fréquences par sexe des sujets

Tableau 27 : Distribution des fréquences par sexe des sujets

L'échantillon est composé pour 58 % d'hommes - soit 26 - et 42 % de femmes - soit 19 -.

La figure 38, donne la distribution des stratégies d'apprentissage représentant l'échantillon.



Stratégies d'apprentissage	Fréquence	Pourcentage
Inconnu	1	2,2
Intuitif-réflexif	8	17,8
Méthodique-réflexif	8	17,8
Méthodique-pragmatique	6	13,3
Intuitif-pragmatique	22	48,9
Total	45	100,0

Figure 38 : Distribution des stratégies d'apprentissage des sujets

Tableau 28 : Distribution des stratégies d'apprentissage des sujets

Nous pouvons observer que presque la moitié de l'échantillon utilise une stratégie d'apprentissage de type « intuitif-pragmatique » (49 % - soit 22 personnes sur 45 -). L'autre moitié, présente une répartition presque égale à celle des autres stratégies d'apprentissage (18 % - soit 8 personnes sur 45 - pour les orientations « intuitif-réflexif » et « méthodique réflexif » et 13 % - soit 6 personnes sur 45 - pour l'orientation « méthodique-pragmatique »). Une personne n'a pas rendu son questionnaire (2 % - soit 1 personne sur 45).

En ce qui concerne l'usage des technologies informatiques et numériques, nous observons dans la figure 39, que presque la totalité de l'échantillon - soit 44 personnes sur 45 - est familière des technologies informatiques pour un usage professionnel ou personnel. Néanmoins, en phase de test, nous avons observé des différences dans l'aisance avec l'interface du SG en fonction des activités quotidiennement effectuées avec l'ordinateur par les individus. Une seule personne a déclaré de ne pas être à l'aise avec les outils informatiques.

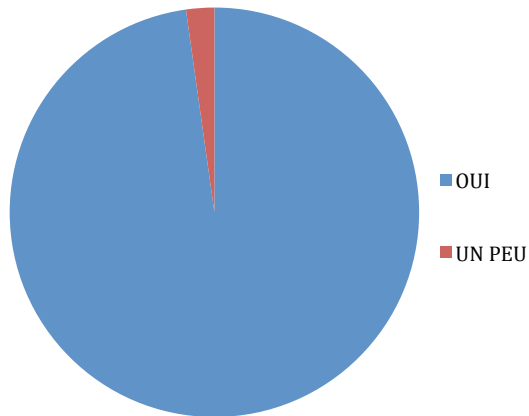


Figure 39 : Distribution des fréquences d'utilisation des technologies informatiques des sujets

familiarité avec les technologies informatiques	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Oui	44	97,8	97,8
Un peu	1	2,2	100,0
Total	45	100,0	

Tableau 29 : Distribution des fréquences d'utilisation des technologies informatiques des sujets

Concernant l'usage des jeux vidéo, il apparaît que 40 % de l'échantillon – soit 18 personnes sur 45 – se déclare joueur de jeux vidéo. 2 % de l'échantillon - soit une personne sur 45 - déclare ne jouer qu'« un peu » à ces jeux. 58 % de l'échantillon déclare de ne pas jouer aux jeux vidéo ou ne plus le faire depuis plus de 10 ans.

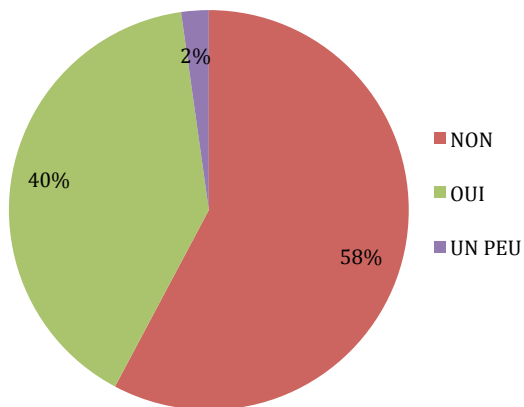


Figure 40 : Distribution des utilisations des jeux vidéo des sujets

Utilisation de jeux vidéo	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Non	26	57,8	57,8
Oui	18	40,0	97,8
Un peu	1	2,2	100,0
Total	45	100,0	

Tableau 30 : Distribution des utilisations des jeux vidéo des sujets

7.2.2. Analyse quantitative des données : progression pré-test/post-test

Le codage des données a permis d'effectuer une analyse quantitative qui tente de répondre aux questions suivantes :

1. Quel impact la formation proposée (LabQuest vs traditionnelle) a-t-elle sur la performance des sujets au post-test ? Peut-on dire qu'une formation est plus efficace que l'autre ? A cet égard, rappelons que notre hypothèse suppose une meilleure efficacité dans le transfert de compétence en faveur d'un apprentissage *via* le SG. Dans ce but, nous avons comparé :
 - 1.a la différence entre les performances réalisées au pré-test et au post-test entre les deux protocoles (LabQuest vs traditionnel) pour le score global ;

- 1.b. la différence entre les performances réalisées au pré-test et au post-test entre les deux protocoles (LabQuest vs traditionnel) pour la procédure de nettoyage d'une surface ; et
- 1.c. La différence entre les performances réalisées au pré-test et au post-test entre les deux protocoles (LabQuest vs traditionnel) pour la procédure de substitution de la boîte de Pétri.
2. Quel est l'impact de la formation proposée (LabQuest vs traditionnelle) sur l'acquisition d'un esprit critique vis-à-vis des non-conformités (par exemple la détection des erreurs effectuées par des tierces personnes).

7.2.2.1. Ensemble des procédures

Statistiques descriptives

Nous avons procédé à l'attribution d'une note globale à l'ensemble des procédures réalisées. L'ensemble de ces procédures, donne un score sur 20 points. Nous présentons ici la moyenne des notes obtenues par les deux groupes (LabQuest et traditionnel) ainsi que l'écart-type et les intervalles supérieurs et inférieurs. Le tableau 31 et la figure 41 ci-dessous appellent des comparaisons par des analyses de la variance à mesures répétées que nous présentons plus loin.

		N	Intervalle inférieur	Intervalle supérieur	Moyenne	Ecart-type.
LabQuest	Pré-test – Score global	23	5,0	18,0	10,413	2,6657
	Post-test – Score global	23	14,5	20,0	17,000	1,5883
Traditionnel	Pré-test – Score global	22	7,0	18,0	10,045	2,8574
	Post-test – Score global	22	10,0	20,0	14,659	2,8132

Tableau 31 : Moyennes de scores globaux obtenus aux pré et post-tests

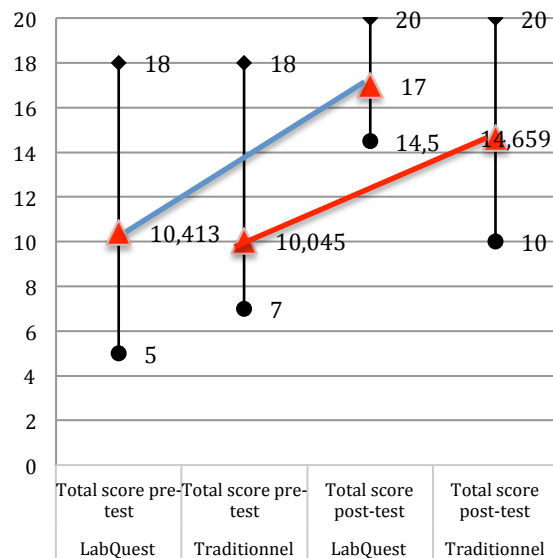


Figure 41 : Progression pré et post-test pour le score global (Denami, 2016)

Régression linéaire

Nous avons réalisé une régression linéaire en croisant les résultats obtenus en pré-test et post-test pour les deux groupes (LabQuest et traditionnel) aux scores obtenus à l'ensemble des procédures pré-test et post-test (score global), dans le but de comprendre s'il existe une prédictibilité des résultats selon la formation que l'on a suivi.

Dans un premier temps nous avons effectué le test R pour l'ensemble des performances. Ci-après les deux graphiques présentant les résultats globaux pour les deux groupes expérimentaux :

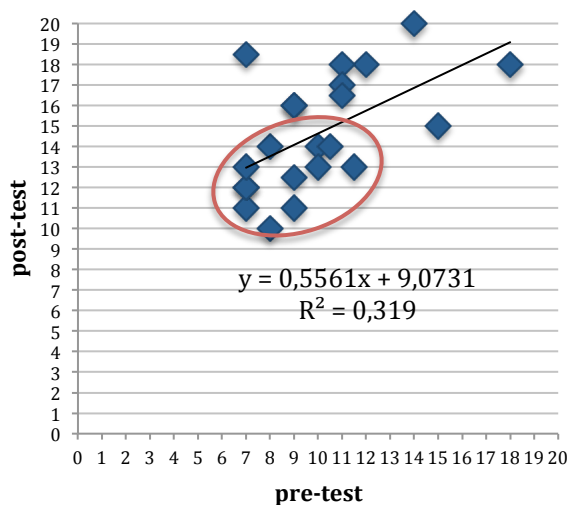


Figure 42 : Régression linéaire des résultats pré-test et post-test obtenus avec le protocole traditionnel

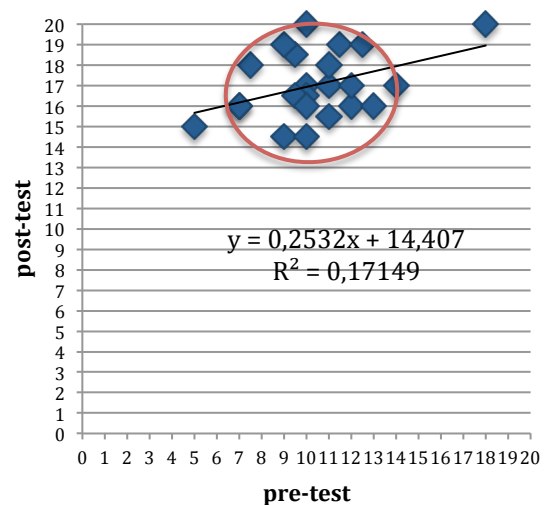


Figure 43 : Régression linéaire des résultats pré-test et post-test obtenus avec le protocole LabQuest

Dans la figure 42 (trad ou protocole traditionnel), on observe la présence de points n'ayant pas d'ordre ni de forme particulière. Les personnes ayant obtenu des mauvais résultats ou des résultats moyens en phase de pré-test ont réalisé des performances plus ou moins discrètes au post-test. Il n'est alors pas possible de déduire une règle précise de l'effet de la formation sur les transferts des compétences dans la pratique réelle. On peut remarquer qu'il y a un nuage de points – 11 points représentant 12 sujets – plus dense de sujets ayant obtenu des résultats moyens (entre 7 et 12 sur 20) en phase de pré-test et qu'ils ont réalisé des résultats médiocres (entre 10 et 15) en phase de post-test. Un petit groupe de 5 personnes a obtenu des améliorations en phase de post test et seule une personne a réalisé toutes les procédures de façon correcte.

Dans la figure 43 (LQ ou protocole LabQuest) il est possible d'observer la présence d'un nuage très dense entre les valeurs 14 et 20 de l'axe Y et entre 7 et 14 de l'axe X. On remarque que les résultats obtenus au post-test sont généralement meilleurs que ceux obtenus en pré-test : ce résultat tendrait à prouver qu'indépendamment du niveau de compétence initiale de la personne, la formation avec LabQuest permet au sujet d'acquérir des compétences applicables dans la vie réelle.

Nous pouvons résumer les résultats observés de la manière suivante : la réalisation d'une formation traditionnelle ne garantit pas l'apprentissage d'une procédure à réaliser dans la vie réelle. Par contre, on remarque que les personnes qui ont obtenu de bons résultats au post-test avaient déjà réalisé de bons *scores* au pré-test. A l'inverse, n'importe quelle personne ayant suivi une formation LabQuest peut atteindre des notes se situant entre 15 et 20 au post-test, indépendamment de la performance obtenue en phase de pré-test. Quel que soit le niveau de compétence de la personne avant de suivre la formation, nous aurons des résultats positifs en phase de post-test.

ANOVA à mesures répétées

Nous allons présenter les résultats des tests concernant l'analyse de la variance à mesures répétées pour l'ensemble des procédures.

Source		Somme des carrés Type III	df	Moyenne des carrés	F	Sig.	η^2
PréPost	En assumant la sphéricité	681,32	1	681,32	200,98	0,00	0,83
	Greenhouse-Geisser	681,32	1	681,32	200,98	0,00	0,83
	Huynh-Feldt	681,32	1	681,32	200,98	0,00	0,83
	Limite inférieure	681,32	1	681,32	200,98	0,00	0,83
PréPost × TEST	En assumant la sphéricité	27,76	1	27,76	8,19	0,007	0,17
	Greenhouse-Geisser	27,76	1	27,76	8,19	0,007	0,17
	Huynh-Feldt	27,76	1	27,76	8,19	0,007	0,17
	Limite inférieure	27,76	1	27,76	8,19	0,007	0,17
Erreur (PréPost)	En assumant la sphéricité	132,20	39	3,39			
	Greenhouse-Geisser	132,20	39	3,39			
	Huynh-Feldt	132,20	39	3,39			
	Limite inférieure	132,20	39	3,39			

Tableau 32 : Tableau récapitulatif du test d'ANOVA à mesures répétées pour l'ensemble des procédures

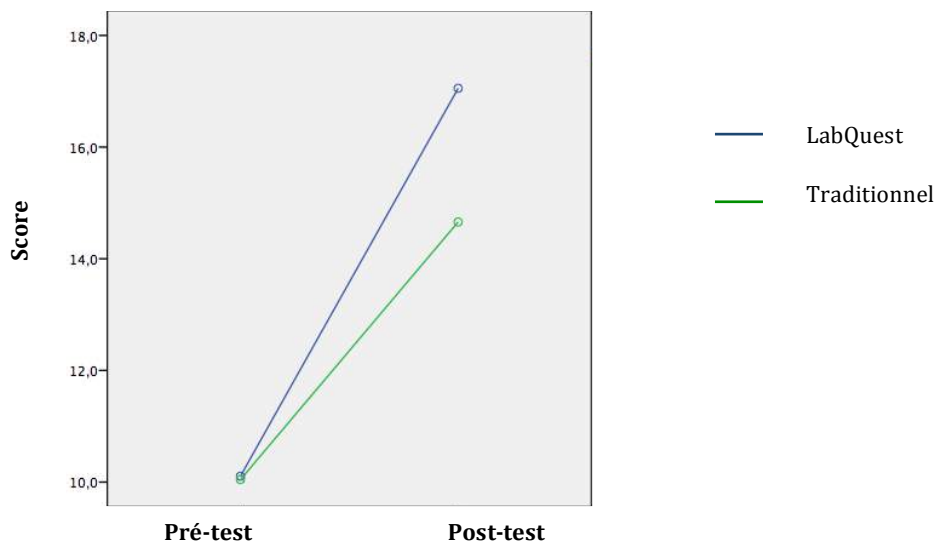


Figure 44 : Graphique représentant les résultats du test d'ANOVA à mesures répétées pour l'ensemble des procédures

Dans la figure 44 on observe en abscisse les résultats aux pré et post-tests, et en ordonnée l'échelle des scores réalisés pour l'ensemble des procédures. D'après l'ANOVA à mesures répétées, ($F_{(1,39)} = 8,190$; $p < .01$ et $\eta^2 = 0,174$) on peut affirmer que la variable « formation (LQ ; Trad) » a eu un impact de causalité sur les résultats obtenus en phase de post-test. En d'autres termes, il est possible de dire que, suite à l'utilisation de LabQuest, les sujets de l'échantillon réalisent de meilleures performances et que les compétences professionnelles sont mieux transférées dans le cadre de la formation effectuée *via* le SG.

Dans les prochains paragraphes, nous allons traiter séparément les données obtenues aux deux procédures (le nettoyage d'une surface et le changement de la boîte de Pétri).

7.2.2.2. Procédure de nettoyage d'une surface.

La première analyse a consisté à quantifier le taux de réussite de l'ensemble des sujets pour chaque tâche qui compose la procédure de nettoyage d'une surface. Ces résultats donnent une idée des étapes plus critiques à réaliser dans l'exécution d'une procédure.

Résultat de la performance au post-test A (nettoyage d'une surface) entre les groupes au post-test.	Pourcentage LQ	Pourcentage TRAD
Désinfection des mains avant de commencer la procédure (LQ et TRAD)	95,7 (22 sujets sur 23)	63,6 (14 sujets sur 22)
Pulvérisation sur la surface (LQ) ou sur la lingette (TRAD)	100 (23 sujets sur 23)	68,2 (15 sujets sur 22)
Procédure de nettoyage du haut vers le bas (LQ et TRAD)	100 (23 sujets sur 23)	68,2 (15 sujets sur 22)
Zigzag (LQ) ou re-pliage de la lingette (TRAD)	100 (23 sujets sur 23)	63,6 (14 sujets sur 22)
Procédure à répéter à plusieurs reprises (LQ et TRAD)*	65,2 (15 sujets sur 23)	45,4 (10 sujets sur 22)
Désinfection des mains à la fin de la procédure (LQ et TRAD)	65,2 (15 sujets sur 23)	36,4 (8 sujets sur 22)
Moyenne du pourcentage de performance	87,6	57,5

*Pourcentage de personnes ayant réalisé le nettoyage à trois reprises consécutives : LQ = 39,1 % contre TRAD=31,8 %

Tableau 33 : Résultat des performances au post-test. Différences entre les protocoles LQ et TRAD pour la procédure de « nettoyage d'une surface »

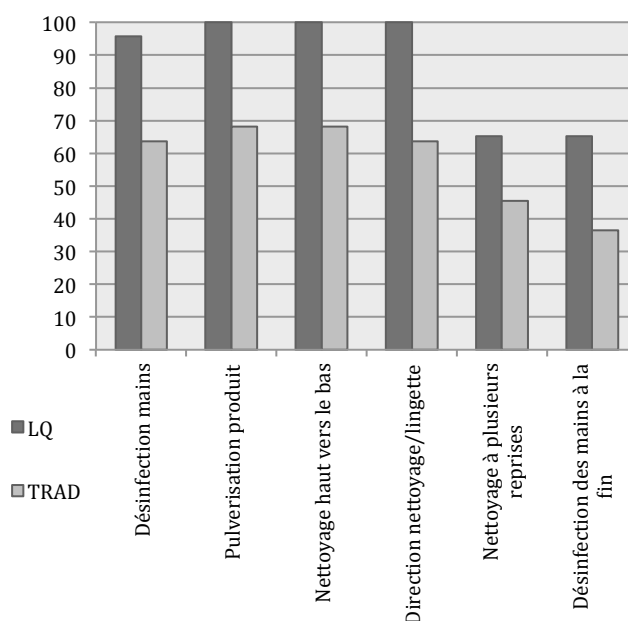


Figure 45 : Taux de réussite, par tâche, pour la procédure de nettoyage d'une surface (Denami, 2016)

L'axe horizontal représente les sept tâches qui composent la procédure de nettoyage d'une surface plane et l'axe vertical le pourcentage de réussite de la réalisation de chacune des tâches. Les résultats montrent que les personnes ayant effectué une formation avec LQ réalisent de meilleures performances dans la réalisation des tâches qui composent la procédure.

Globalement, on observe que les sujets ayant suivi la formation avec le SG (LabQuest) obtiennent un pourcentage de réussite au post-test de 87,6 % par opposition à 57,5 % pour les sujets ayant effectué une formation traditionnelle.

Il est aussi possible de remarquer que, dans les deux formations, les sujets réalisent globalement une performance inférieure lorsqu'il s'agit d'effectuer la procédure de nettoyage de la surface à plusieurs reprises. Néanmoins 15 sujets sur 23 ont effectué un nettoyage à plusieurs reprises pour le protocole LabQuest alors que seulement 8 sujets sur 22 ont réalisé cette procédure répétée parmi les personnes ayant suivi la formation traditionnelle. On peut avancer l'hypothèse qu'il s'agit d'une tâche critique.

Nous présentons, ci-dessous, l'évolution des performances propres à chaque groupe (LabQuest et traditionnel).

		N	Intervalle inférieure	Intervalle supérieure	Ecart-type	Moyenne
LabQuest	Pré-test « nettoyage d'une surface »	23	2,0	5,5	0,82	3,43
	Post-test « nettoyage d'une surface »	23	4,5	7,0	0,77	6,13
Traditionnel	Pré-test « nettoyage d'une surface »	22	2,0	4,0	0,68	3,27
	Post-test « nettoyage d'une surface »	22	1,0	7,0	1,56	4,38

Tableau 34 : Récapitulatif des résultats obtenus au pré-test et post-test pour les protocoles LQ et TRAD pour la procédure « nettoyage d'une surface »

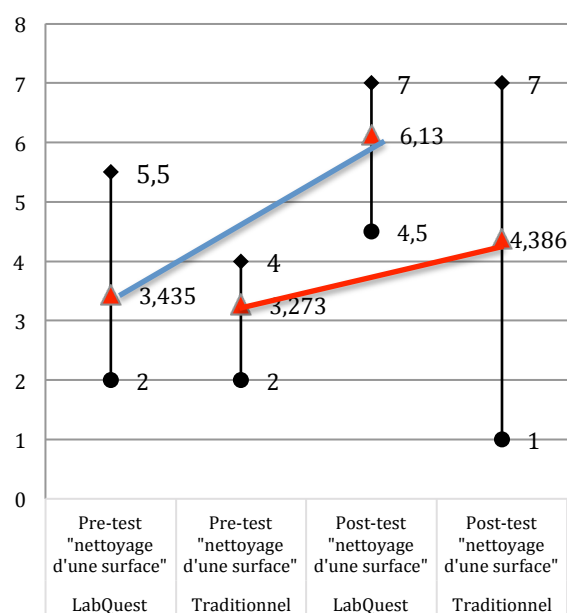


Figure 46 : Progression entre le pré et le post-test pour la procédure « nettoyage d'une surface »

Dans le tableau 34 et la figure 46, on observe qu'en phase de pré-test la moyenne des résultats est homogène pour les deux protocoles (LQ m = 3,4 ; TRAD m = 3,32 ; t = 0,7 ; p < .05). En ce qui concerne le post-test, on observe que la moyenne des résultats est supérieure pour les sujets ayant effectué le protocole LabQuest (LQ m = 6,13 ; TRAD m = 3,32). De plus, on observe un écart-type plus important pour les sujets ayant effectué une formation traditionnelle (1,5 pour la formation traditionnelle contre 0,77 pour LabQuest) avec un score minimal de 1 sur 7 pour la formation traditionnelle contre 4,5 sur 7 pour le protocole LabQuest.

Différence de performance entre le pré-test et le post-test entre LQ et TRAD	Pré-test %	LQ Post-test %	Différence %	Pré-test %	TRAD Post-test %	Différence %
Désinfection des mains avant de commencer la procédure (LQ et TRAD)	65,2	95,7	30,5	77,3	63,6	13,7
Pulvérisation sur la surface (LQ) ou sur la lingette (TRAD)	Valeur non exploitable	100	100	Valeur non exploitable	68,2	68,2
Procédure de nettoyage du haut vers le bas (LQ et TRAD)	17,4	100	82,6	0	68,2	68,2
Zigzag (LQ) ou re-pliage de la lingette (TRAD)	8,7	100	91,3	0	63,6	63,6
Procédure à répéter à plusieurs reprises (LQ et TRAD)*	0	65,2	65,2	0	45,4	45,4
Désinfection des mains à la fin de la procédure (LQ et TRAD)	47,8	65,2	17,4	27,3	36,4	9,1
Moyenne du pourcentage de performance	23,2	87,6	55,2	17,4	57,5	40,1

*Pourcentage de personnes ayant réalisé le nettoyage à trois reprises consécutives : LQ = 39,1 % contre TRAD=31,8 %

Tableau 35 : Progression entre le pré-test et le post-test pour la procédure de « nettoyage d'une surface »

Dans le tableau ci-dessus, les résultats au pré- et post-test sont présentés en parallèle. Nous avons mis en évidence la différence de performance inter-groupe : les sujets ayant effectué le test LabQuest montrent une différence dans la performance entre le pré-test et le post-test de 53,4 % par opposition à 40,1 % pour les sujets ayant effectué le test traditionnel.

Régression linéaire

Nous avons réalisé une régression linéaire dans le but de savoir s'il y a une prédictibilité entre le pré-test et le post-test imputable à la formation suivie par l'apprenant.

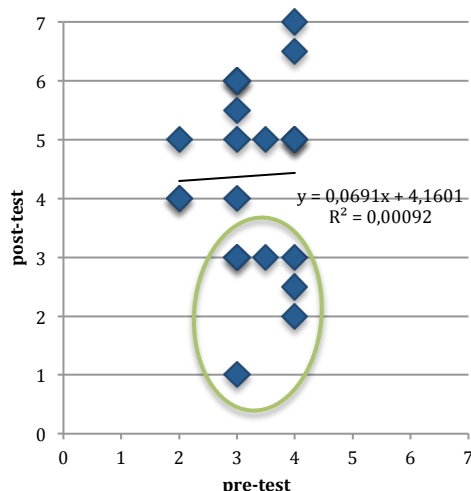


Figure 47 : Régression linéaire des résultats pré-test et post-test avec le protocole traditionnel

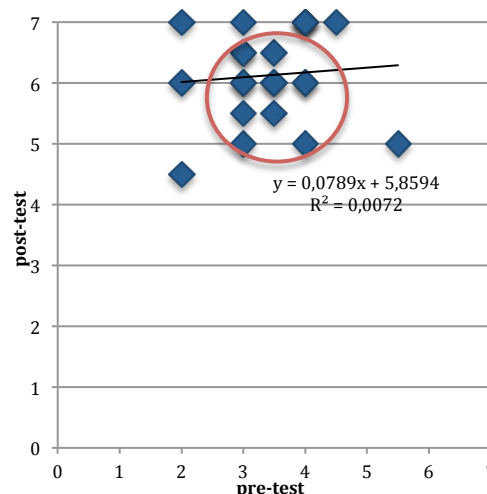


Figure 48 : Régression linéaire des résultats pré-test et post-test avec le protocole LabQuest

Sur la figure 47 (trad), on observe que les résultats au post-test ne sont pas influencés par les performances réalisées au pré-test. En d'autres termes, il n'est pas possible de prédire quelles compétences et quelles connaissances les personnes vont éventuellement développer dans la vie réelle. Au contraire de ce que nous avons observé pour le protocole LabQuest, on remarque que 6 personnes ont régressé dans leur pratique. Ce phénomène peut être expliqué par le fait que, parfois, les procédures demandent aux personnes de faire une tâche qui va à l'encontre du sens commun et qu'un support de formation non efficace peut perturber leurs pratiques et générer des régressions. On observe aussi que les meilleurs résultats en phase de post-test ont été obtenus par les sujets qui avaient déjà des performances plus ou moins bonnes en phase de pré-test.

Sur la figure 48 (LQ), on remarque un nuage de points positionnés entre les valeurs 5 et 7 de l'axe des ordonnées. Ce résultat signifie qu'en phase de post-test, les personnes ont réalisé des performances visiblement meilleures à celles obtenues en phase de pré-test. Globalement les personnes réalisent des améliorations dans leurs performances post-test à l'exception d'un seul cas de régression. Il est encore possible d'affirmer que la performance post-test n'est pas influencée par le niveau de compétence initial de la personne.

ANOVA à mesures répétées

Nous avons réalisé une ANOVA à mesures répétées afin de vérifier s'il existe une relation de cause à effet entre le score obtenu au post-test et le type de formation suivie. Ce test statistique permet de déterminer l'influence éventuelle de la formation sur la progression de la performance en mesurant, entre autre, la différence entre le pré-test et le post-test, mais aussi la différence entre les deux groupes, LabQuest et traditionnel.

		Somme des carrés Type III	df	Moyenne des carrés	F	Sig.	η^2
Pré-post	En assumant la sphéricité	81,6	1	81,6	81,7	,000	,6
	Greenhouse-Geisser	81,6	1	81,6	81,7	,000	,6
	Huynh-Feldt	81,6	1	81,6	81,7	,000	,6
	Limite inférieure	81,6	1	81,6	81,7	,000	,6
Prépost * TEST	En assumant la sphéricité	14,1	1	14,1	14,1	,001	,2
	Greenhouse-Geisser	14,1	1	14,1	14,1	,001	,2
	Huynh-Feldt	14,1	1	14,1	14,1	,001	,2
	Limite inférieure	14,1	1	14,1	14,1	,001	,2
Erreur (prépost)	En assumant la sphéricité	42,9	43	,998			
	Greenhouse-Geisser	42,9	43	,998			
	Huynh-Feldt	42,9	43	,998			
	Limite inférieure	42,9	43	,998			

Tableau 36 : Tableau récapitulatif des résultats du test ANOVA à mesures répétées pour la procédure de « nettoyage d'une surface »

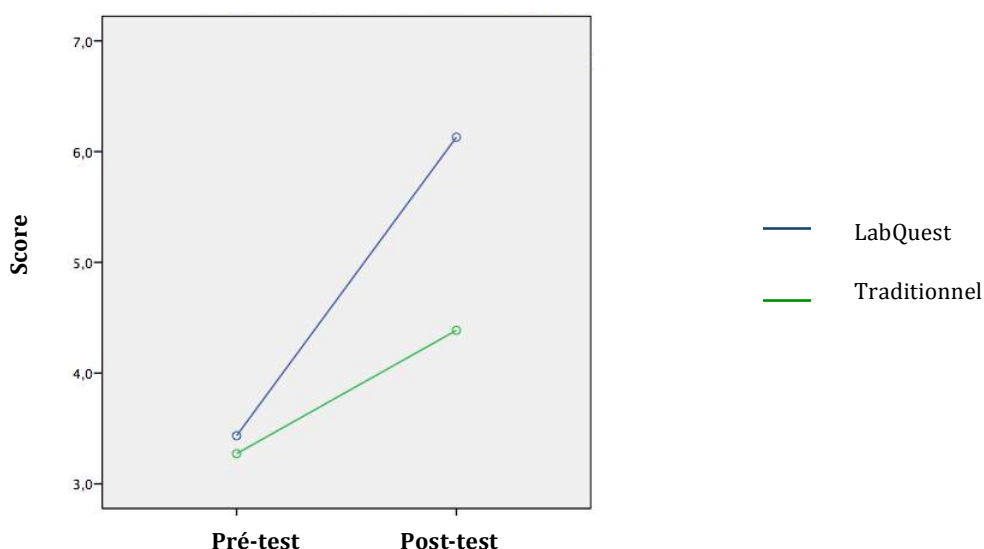


Figure 49 : Test d'ANOVA à mesures répétées pour la procédure de « nettoyage d'une surface »

Sur la figure 49 on observe en abscisse les résultats aux pré et post-tests et, en ordonnée, l'échelle des scores réalisés pour l'ensemble des procédures. D'après l'ANOVA à mesures répétées ($F_{(1,43)} = 14,098$; $p < .001$ et $\eta^2 = 0,247$), on peut affirmer que, la variable « formation (LQ ; Trad) » a effectivement eu un impact sur les résultats obtenus en phase de post-test en ce qui concerne la procédure de nettoyage d'une surface. En d'autres termes, il est possible de dire que grâce à l'utilisation de LabQuest, les personnes améliorent leurs performances.

7.2.2.3. Procédure de substitution d'une boîte de Pétri.

Nous avons essayé de quantifier le taux de réussite de l'ensemble des sujets pour chaque tâche composant la procédure de substitution d'une boîte de Pétri. Ces résultats donnent une idée des étapes les plus critiques à réaliser dans l'exécution de cette procédure.

Résultat de la performance au post-test B (substitution de la boîte de Pétri) LQ et TRAD	LQ %	TRAD %
Désinfection des mains avant de commencer la procédure	82,6 (19 sujets sur 23)	90,9 (20 sujets sur 22)
Ouverture des vitres du RABS	100 (23 sujets sur 23)	100 (22 sujets sur 22)
Fermeture de l'ancienne BDP	91,3 (21 sujets sur 23)	86,4 (19 sujets sur 22)
Annotation de l'heure de fermeture de l'ancienne BDP	78,3 (18 sujets sur 23)	72,7 (16 sujets sur 22)
Installation de la nouvelle BDP à la place de l'ancienne	95,7 (22 sujets sur 23)	77,3 (17 sujets sur 22)
Annotation de l'heure d'ouverture de la nouvelle BDP	87 (20 sujets sur 23)	81,8 (18 sujets sur 22)
Ouverture de la nouvelle BDP	91,3 (21 sujets sur 23)	95,5 (21 sujets sur 22)
Positionnement correct de la nouvelle BDP (fond vers le haut)	78,3 (18 sujets sur 23)	45,5 (10 sujets sur 22)
Prélèvement de l'ancienne BDP	87 (20 sujets sur 23)	77,3 (17 sujets sur 22)
Fermeture des vitres de la machine	95,7 (22 sujets sur 23)	90,9 (20 sujets sur 22)
Positionnement de l'ancienne BDP sur la table	91,3 (21 sujets sur 23)	86,4 (19 sujets sur 22)
Renseignement de l'heure de fermeture de l'ancienne BDP et de l'ouverture de la nouvelle BDP	52,2 (12 sujets sur 23)	59,1 (13 sujets sur 22)
Désinfection des mains suite la finalisation de la substitution de la BDP	56,5 (13 sujets sur 23)	59,1 (13 sujets sur 22)
Moyenne du pourcentage de performance	83,6	78,6

Tableau 37 : Performances au post-test pour les protocoles LQ et TRAD pour la procédure de « substitution de la boîte de Pétri »

D'après le tableau 37, nous observons que les sujets ayant suivi la formation avec LabQuest obtiennent un pourcentage global de réussite à la procédure de changement de la boîte de Pétri de 83,6 % contre 78,6 % pour les sujets ayant suivi une formation traditionnelle.

Nous avons souhaité comparer le taux de réussite ainsi que sa progression dans la réalisation de la procédure de substitution de la boîte de Pétri entre les deux groupes. Voici le tableau 38 récapitule les pourcentages de réussite de l'échantillon pour chaque tâche considérée.

Exploration du Serious Game

Différence de performance entre le pré et le post tests entre LQ et TRAD	LQ			TRAD		
	Pré-test %	Post-test %	Différence %	Pré-test %	Post-test %	Différence %
Désinfection des mains avant de commencer la procédure	52,2	82,6	30,4	54,2	90,9	36,7
Ouverture des vitres du RABS	100	100	0	100	100	0
Fermeture de l'ancienne BDP ouverte	43,5	91,3	47,8	54,5	86,4	31,9
Annotation de l'heure de fermeture de l'ancienne BDP	8,7	78,3	69,6	22,7	72,7	50
Installation de la nouvelle BDP à la place de l'ancienne	69,6	95,7	26,1	72,7	77,3	18,2
Annotation de l'heure d'ouverture de la nouvelle BDP	26,1	87	60,9	22,7	81,8	59,1
Ouverture de la nouvelle BDP	69,6	91,3	21,7	72,7	95,5	22,8
Positionnement correct de la nouvelle BDP (fond vers le haut)	47,8	78,3	30,5	50	45,5	-4,5
Prélèvement de l'ancienne BDP	56,5	87	30,5	45,5	77,3	31,8
Fermeture des vitres de la machine	91,3	95,7	4,4	90,9	90,9	0
Positionnement de l'ancienne BDP sur la table	73,9	91,3	17,4	63,9	86,4	22,5
Renseignement de l'heure de fermeture de l'ancienne BDP et l'ouverture de la nouvelle BDP	0	52,2	52,2	0	59,1	59,1
Désinfection des mains suite la finalisation de la substitution de la BDP	47,8	56,5	8,7	31,8	59,1	28
Moyenne du pourcentage de performance	52,8	83,6	30,8	50	78,6	28,6

Tableau 38 : Progression entre le pré-test et le post-test pour la procédure de « substitution de la boîte de Pétri »

Dans ce tableau, sont présentés en parallèle les résultats au pré et post-test. Nous avons mis en évidence une différence de performance inter-groupe : les sujets ayant effectué le test LabQuest montrent une différence de performance entre le pré-test et le post-test respectivement de 30,8 % contre 28,6 % pour les sujets ayant effectué le test traditionnel. Cette différence n'est pas significative, même si elle est légèrement en faveur du protocole LabQuest.

Nous voulons avancer deux hypothèses concernant l'absence de différence significative entre ces résultats :

Hypothèse 1 : le protocole de test, mis en place pour la collecte des données, présente une petite faille ; entre la lecture du document de formation (protocole traditionnel) et la

reproduction de la procédure en phase de post-test, aucune autre activité n'est proposée au sujet. Au contraire, dans le protocole LabQuest, entre la formation et le post-test, la personne se voit proposer la visualisation de la vidéo de détection des erreurs. Cette première hypothèse explicative a fait l'objet d'un test complémentaire pour corriger le protocole qui sera traité ultérieurement dans le développement de cette thèse.

Hypothèse 2 : l'exercice de « substitution de la boîte de Pétri » est fondamentalement une tâche d'exécution pas à pas de type directif. Contrairement aux autres activités proposées dans le SG, il est demandé au sujet de reproduire une procédure sans qu'il ait eu accès à l'explication des principes fondamentaux qui la justifient. Cependant, la personne ne réfléchit pas au sens de ses actes, mais s'en tient à un protocole imposé par l'autorité sans devoir en déduire une règle sous-jacente. Cette deuxième hypothèse explicative est partiellement confirmée lors des entretiens avec les sujets en phase de débriefing. Les personnes se plaignent d'une difficulté de compréhension des règles qui justifient une bonne conduite dans cette activité (cf tableau 50).

Nous présentons, ci-dessous, l'évolution de la performance pour chaque groupe expérimental (LabQuest et traditionnel).

		N	Intervalle inférieur	Intervalle supérieur	Ecart type	Moyenne
LabQuest	Pré-test « substitution de la BDP »	23	2,0	12,0	2,1724	6,913
	Post test « substitution de la BDP »	23	8,0	13,0	1,4864	10,870
Traditionnel	Pré-test - « substitution de la BDP »	22	4,0	12,0	2,2156	6,636
	Post-test « substitution de la BDP »	22	5,0	13,0	2,4286	10,227

Tableau 39 : Récapitulatif des résultats obtenus au pré-test et au post-test pour les protocoles LQ et TRAD pour la procédure « substitution de la boîte de Pétri »

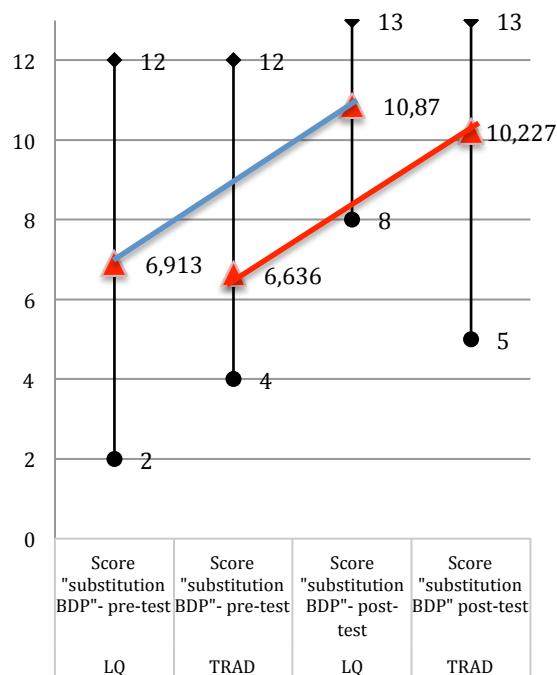


Figure 50 : Progression des performances entre le pré-test et le post-test pour la procédure de substitution de la BDP

Dans le tableau 39 et la figure 50, il est possible d'observer qu'au pré-test la moyenne des résultats est homogène pour les deux protocoles (LQ $m = 6,9$; TRAD $m = 6,6$ $t = 0,4$ n.s.). Au post-test nous n'observons pas non plus de différences importantes (LQ $m = 10,87$; TRAD $m = 10,2$ $t = 1,07$ n.s.). Par ailleurs, un écart-type plus important est observé pour les performances des sujets ayant effectués une formation traditionnelle (2,4 pour la formation traditionnelle contre 1,4 pour LabQuest) avec un score minimal de 5 sur 13 pour la formation traditionnelle contre 8 sur 7 pour le protocole LabQuest.

Les résultats obtenus au post-test pour la procédure de substitution de la boîte de Pétri ne montrent pas de différence significative entre les deux protocoles (LabQuest et Traditionnel). A cette phase, la façon dont l'exercice a été réalisé n'a pas d'impact sur le transfert des compétences des personnes formées, pour les raisons que nous avons évoqués précédemment. En effet, notre deuxième hypothèse qui cherche à expliquer cette « faille » (« *la procédure de substitution de la boîte de Pétri est fondamentalement une tâche d'exécution. Contrairement aux autres activités proposées dans le SG, il est demandé au sujet de reproduire une procédure sans qu'il ait accès à l'explication des principes fondamentaux qui la justifient. Cependant, la personne ne réfléchit pas au sens de ses actes, mais s'en tient à un protocole imposé par l'autorité sans devoir en déduire une règle sous-jacente* ») trouve un début de vérification lors des premières analyses qualitatives. Les sujets ayant effectué le protocole LabQuest déclarent apprécier le côté « réflexif » de l'outil. La façon dont les contenus pédagogiques sont présentés et leur étroite contextualisation dans l'univers 3D leur offrent des « clés de réflexion » qui sont à la base des comportements à adopter en zone de production et non une « recette toute faite ». Les sujets ne

perçoivent pas ces normes comme étant « directives » (au contraire de celles qui ont été données pour la procédure de substitution de la boîte de Pétri). C'est d'après ces déclarations que nous faisons l'hypothèse que, *a contrario*, l'exercice de substitution de la boîte de Pétri, très « directif », qui prévoit l'application d'une procédure pas à pas et qui ne demande pas de réflexion, ne révèle aucune différence, qu'elle soit exécutée dans la vie réelle ou dans un environnement simulé. Nous approfondirons cet aspect lors de l'analyse des données qualitatives (entretiens et observations de l'exploration de l'environnement, chapitre 7.2.5).

ANOVA à mesures répétées

Nous allons présenter les résultats des tests concernant l'analyse de la variance à mesures répétées pour la procédure de substitution de la boîte de Pétri.

Source		Somme des carrés Type III	df	Moyenne des carrés	F	Sig.	η^2
prepost	En assumant la sphéricité	320,3	1	320,3	112,7	,00	,72
	Greenhouse-Geisser	320,3	1	320,3	112,7	,00	,72
	Huynh-Feldt	320,3	1	320,3	112,7	,00	,72
	Limite inférieure	320,3	1	320,3	112,7	,00	,72
prepost x TEST	En assumant la sphéricité	,75	1	,75	,26	,61	,006
	Greenhouse-Geisser	,75	1,0	,75	,26	,61	,006
	Huynh-Feldt	,75	1	,75	,26	,61	,006
	Limite inférieure	,75	1	,75	,26	,61	,006
Erreur (prepost)	En assumant la sphéricité	122,1	43	2,8			
	Greenhouse-Geisser	122,1	43,0	2,8			
	Huynh-Feldt	122,1	43,0	2,8			
	Limite inférieure	122,1	43,0	2,8			

Tableau 40 : Tableau récapitulatif du test ANOVA à mesures répétées pour la procédure de « substitution de la boîte de Pétri »

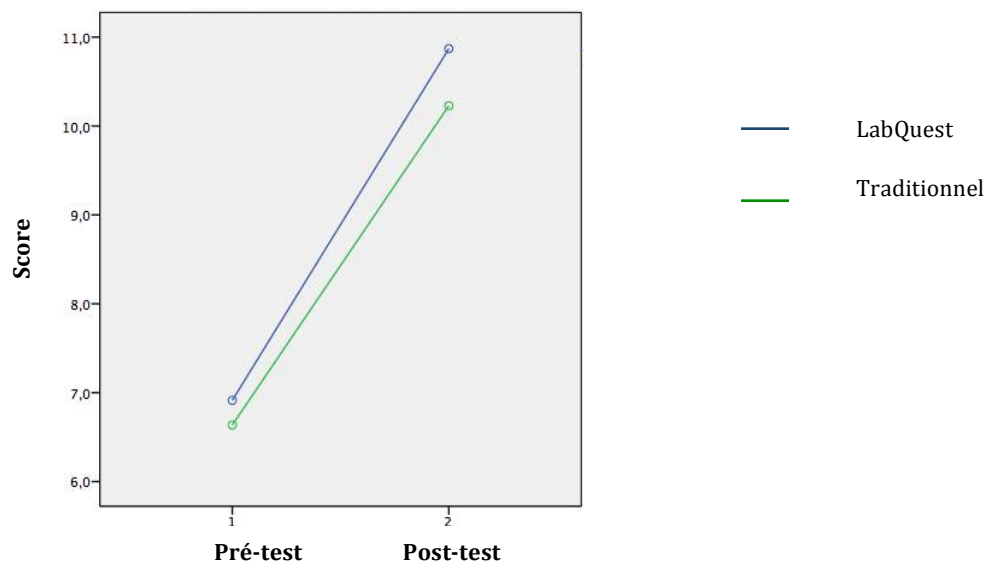


Figure 51 : Test d'ANOVA à mesures répétées pour la procédure de « substitution boîte de Pétri »

La figure 51 nous prouve, une fois de plus, qu'il n'y a pas de différences significatives dans la réalisation de la procédure de substitution de la boîte de Pétri, en raison de la directivité de la prescription faite dans les deux formations (LabQuest et Traditionnelle) ($F_{(1, 43)} = 0,26$; ns)

7.2.3. Détection des erreurs dans la vidéo d'observation de tierces personnes

Erreurs pertinentes et non pertinentes.

Pour comprendre les résultats obtenus à l'exercice de détection des erreurs dans la vidéo d'observation de tierces personnes, nous devons définir ce que sont une « erreur pertinente » (EP) et une « erreur non pertinente » (ENP). En effet, pendant l'observation de la vidéo, les sujets novices en salle blanche ont diagnostiqué des comportements qui ne leur semblaient pas conformes aux contenus de formation qu'ils venaient de recevoir. Ils se sont donc construits des représentations de ce qui était correct et erroné, suite à l'expérience qu'ils venaient de vivre. En effet, pour des raisons liées à l'économie générale de l'expérimentation, la formation n'a traité qu'une partie restreinte des points normalement abordés pour qualifier une personne à l'accès en zone aseptique. Cependant, dans la vidéo, les sujets ont diagnostiqué les erreurs qui dérivait de leurs représentations, c'est-à-dire des « normes de la vie de tous les jours » croisées avec les nouvelles représentations qui se sont construites pendant la formation. Pour ces raisons, nous avons observé que les erreurs détectées par les sujets ont été partiellement biaisées par l'idée qu'ils s'étaient faite du travail en salle blanche. Par exemple, 88,9 % des personnes ayant effectué la formation avec LabQuest et 82,4 % des personnes ayant effectué la formation traditionnelle ont détecté comme erreur ce qui était dans la réalité un prélèvement bactériologique de la tenue de l'opérateur. Les sujets signalaient comme erreur le fait que, dans la vidéo, l'opérateur, « *se renversait une boîte de Pétri sur la poitrine* ». Effectivement, dans la formation, nous n'avons pas traité les normes concernant le contrôle bactériologique, ce qui aurait évité aux sujets de considérer comme erreur quelque chose qui, en réalité, est considéré comme indispensable pour une production stérile optimale.

Nous considérons comme « erreurs pertinentes » (EP) les erreurs signalées par les participants à l'expérimentation, qui sont effectivement considérées comme « non-conformes » par la communauté des experts de la production aseptique. Leur classification est, en effet, en accord avec les normes GMP et les BPF, c'est-à-dire les normes qui règlent la production en zone aseptique. Nous considérons comme « erreurs non pertinentes » (ENP) les erreurs signalées par les participants à l'expérimentation, qui ne sont pas considérées comme « non conformes » par la communauté des experts de la production aseptique. Au contraire, ces comportements sont tout à fait intégrés dans les procédures nécessaires à la production en zone aseptique.

Nous nous sommes donc interrogés sur l'influence que la formation par le SG peut avoir sur la compétence à diagnostiquer des mauvais comportements ou des non-conformités chez autrui.

Dans le tableau 41, nous reportons les pourcentages de détection des erreurs pertinentes (EP) et non pertinentes (ENP) chez les personnes ayant bénéficié d'une formation LabQuest ou traditionnelle.

Erreurs pertinentes	Erreurs non pertinentes	LQ %		TRAD %		Significativité test χ^2
		EP	ENP	EP	ENP	
Vitre sale		44,4		13,6		P = .088 valeur n.s. mais intéressant vu n=45
	Flacons dans une boîte d'aluminium		27,8		17,3	P > .05 n.s.
Ajustement du masque		83,3		58,8		P = .109 valeur n.s. mais intéressant vu n=45
Nettoyage de la vitre		88,9		47,1		P = .008
	Le personnage n'utilise pas le produit pour nettoyer la vitre		27,8		58,8	P = .064
La personne repose la lingette sur la table après l'avoir utilisée		77,8		70,6		P > .05
	Désinfection des mains au mauvais moment ou non-complète		61,1		64,7	P > .05
BDP non fermée et sortie de la machine		100		58,8		P = .002
	Pulvérisation de spray dans la machine		88,9		76,5	P > .05
	Contrôle bactériologique sur la tenue		88,9		82,4	P > .05
La personne sort de la pièce avec la lingette sale		83,3		64,7		P > .05
	Vitres de la machine laissées ouvertes		33,3		23,5	P > .05
	La personne ne renseigne pas le dossier de fabrication		22,2		23,5	p> .05
	La personne n'annote pas la BDP		55,6		47,1	p> .05
	La personne ne nettoie pas la table avant de déposer le produit		5,6		5,9	p> .05
Pourcentage d'erreurs partielles (pertinentes/non pertinentes)		89,3	45,6	52,2	44	
Pourcentage global d'erreurs détectées		67,4		48,3		

Tableau 41 : Détection des erreurs pertinentes et non pertinentes (Denami, 2016)

Dans le graphique 52 il est possible d'observer, sur l'axe horizontal l'ensemble des erreurs pertinentes (EP) et non pertinentes (ENP) qui ont été détectées au cours de l'observation de la vidéo par l'ensemble de l'échantillon alors que, l'axe vertical, donne le pourcentage de personnes qui ont détecté l'erreur.

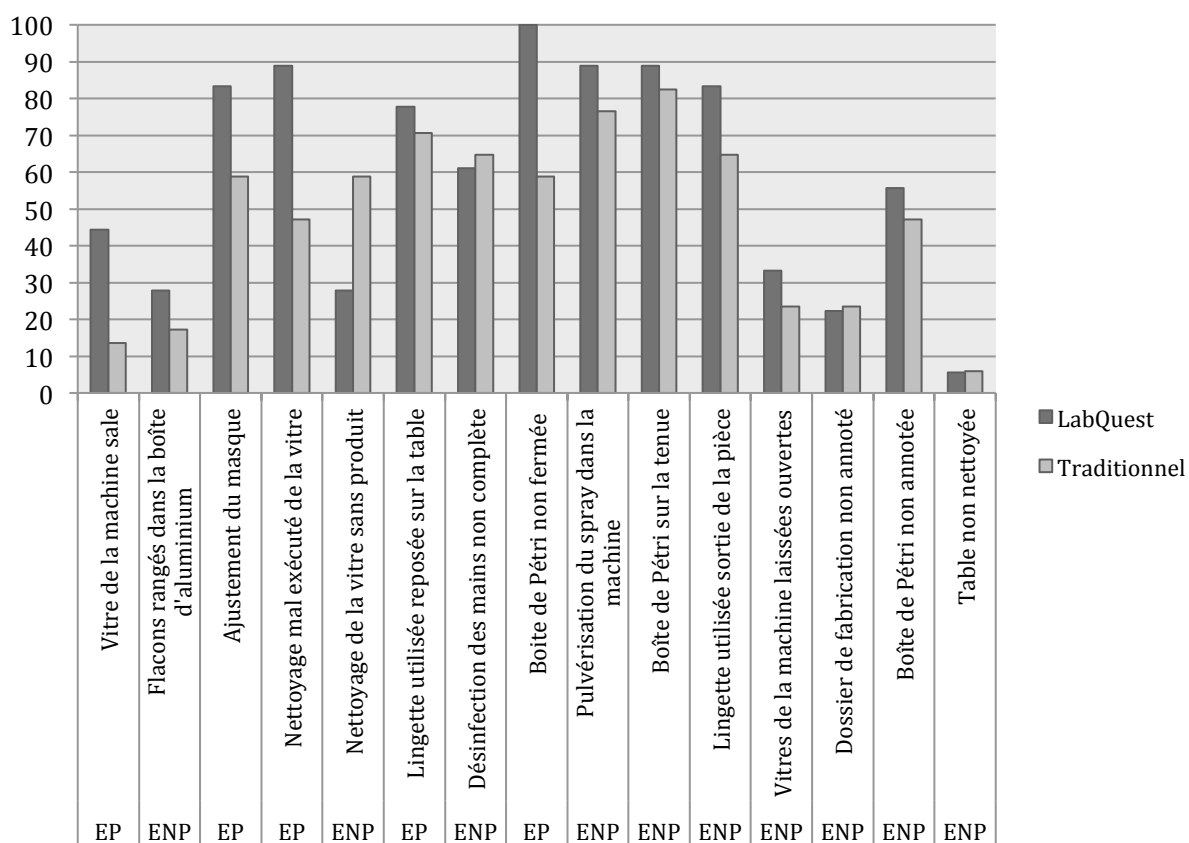


Figure 52 : Détection des erreurs observées dans la vidéo (Denami, 2016)

Les résultats montrent que les personnes ayant suivi une formation avec LabQuest réalisent de meilleures performances dans la détection des erreurs pertinentes (EP) par comparaison aux personnes ayant suivi une formation traditionnelle. On remarque également qu'il n'existe pas de différence significative entre les deux groupes (LabQuest et traditionnel) en ce qui concerne le pourcentage de détection des erreurs non-pertinentes (ENP).

De même, on observe que 89,3 % des sujets du groupe LabQuest ont identifié toutes les erreurs et tous les comportements non-conformes, contre 52,2 % des sujets du groupe traditionnel. Plus précisément, 100 % des sujets (18 sujets sur 18) du groupe LabQuest ont détecté des non-conformités graves comme « sortir la boîte de Pétri non fermée de la machine », contre 58,8 % des sujets (10 sujets sur 17) formés de manière traditionnelle (cf. fig. 4 : $\chi^2 = 9.3$; $p < .01$ à ddl = 1). De plus, 88,9 % des sujets (16 sujets sur 18) ayant reçu la formation avec le SG identifient une procédure de bio-nettoyage de surface non conforme, contre 58,8 % seulement des sujets (10 sujets sur 17) qui ont suivi la formation traditionnelle (cf. fig. 4 : $\chi^2 = 7.1$; $p < .01$ à ddl = 1). Enfin, 83,3 % des personnes formées avec LabQuest (15 sujets sur 18) ont signalé des erreurs d'auto-contact (ajustement du masque de vision en zone de production), contre 58,8 % seulement des sujets formés avec la méthode traditionnelle (10 sujets sur 17) (cf. fig. 4 : $\chi^2 = 2,6$; $p = .109$; ns à ddl = 1). Enfin, aucune différence significative n'a pas été observée en ce qui

concerne la comparaison des erreurs « non-pertinentes » : 45,6 % sujets ayant effectué le protocole LabQuest, contre 44 % des sujets ayant effectué le protocole traditionnel.

Pour résumer, nous pouvons affirmer que la détection des erreurs pertinentes est réalisée de façon significativement plus appropriée par les sujets ayant suivi une formation avec LabQuest par comparaison aux sujets ayant suivi une formation traditionnelle. Aucune différence significative n'a été observée sur la détection des erreurs non-pertinentes entre les deux groupes expérimentaux (LabQuest et traditionnel).

7.2.4. Observation de l'activité des apprenants pendant la formation avec LabQuest (23 sujets)

Toute activité réalisée pendant la formation *via* LabQuest a été enregistrée par un dispositif de capture d'écran qui a permis, parallèlement, d'enregistrer une trace audio des interactions, commentaires et réactions de l'utilisateur.

L'exploration de l'environnement 3D par l'utilisateur était guidée par un système de repères, des « *pins* » (comme ceux qui sont présents sur *Google Maps*). Chaque « *pin* » représente un POI (*Point Of Interest*, ou Point d'Intérêt en traduction française) qui traite d'une règle ou d'une procédure fondamentale qui doit être effectuée afin de réaliser un travail correct en zone aseptique. Néanmoins, le test demandait au sujet de ne consulter que les informations destinées à l'apprentissage de la réalisation des deux procédures testées dans le protocole : le nettoyage d'une surface et la substitution de la boîte de pétri. L'utilisateur accède à ce contenu pédagogique en cliquant simplement sur le « *pin* ».

Le scénario choisi pour le protocole de test inclut les POI suivants :

- règle d'habillage du haut vers le bas ;
- nettoyage des surfaces (nombre de fois) ;
- modalités de nettoyage (direction) ;
- modalités et finalités d'utilisation de la boîte de Pétri.

En introduisant l'exercice, nous avons demandé aux sujets d'explorer l'environnement 3D de façon à en tirer les informations nécessaires à la réalisation des procédures qu'ils venaient de réaliser au pré-test.

Néanmoins, pendant l'exploration, nous avons observé des comportements (des réactions spontanées) qui n'avaient pas été évoqués ni demandés par le chercheur :

- certains sujets, à l'entrée de la pièce N.C.⁴⁷, ont spontanément cliqué sur le panneau illustrant la procédure complète de lavage des mains ;

⁴⁷ Non Classée

- certains sujets ont essayé de réaliser une procédure de lavage des mains à l'intérieur de la pièce N.C. ;
- certains sujets ont utilisé le miroir comme outil de contrôle de l'état d'avancement de l'habillage ;
- certains sujets ont cliqué sur le POI d'habillage et habillé leur avatar.

Le lavage des mains : réactions

Nous avons voulu comprendre si le fait d'accéder spontanément dans un environnement 3D, et de visualiser un panneau illustrant une procédure correcte de lavage des mains avait une influence sur la performance au post-test.



Figure 53: Procédure de lavage des mains disponibles dans LabQuest

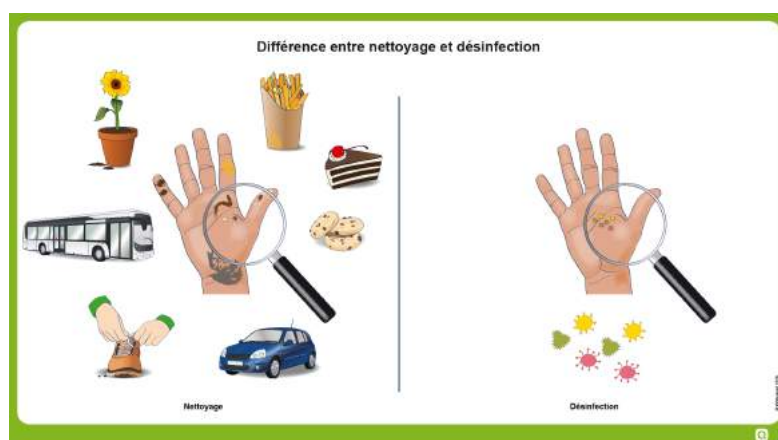


Figure 54 : Différence entre nettoyage et désinfection des mains disponibles dans LabQuest

Le tableau 42 fait apparaître le pourcentage de fréquences des clics sur la procédure de lavage des mains réalisée dans le logiciel.

		En phase de post-test, Le sujet fait référence aux règles de lavage des mains apprises pendant la formation avec LQ (durée, étapes)			Total
		non	oui	progression	
Le sujet clique sur a « procédure de lavage des mains »	Non	7 87,5 %	0 0,0 %	1 12,5 %	8 100,0 %
	Oui	7 46,7 %	7 46,7 %	1 6,7 %	15 100,0 %
Total		14 60,9 %	7 30,4 %	2 8,7 %	23 100,0 %

Tableau 42 : Références aux règles de lavage des mains au post-test

Nous pouvons remarquer que, parmi les sujets ayant effectué une formation LabQuest, 15 personnes sur 23 (65,2 %) ont spontanément accédé au panneau « procédure de lavage des mains » disponible dans la pièce N.C. Ce phénomène pourrait être attribué à un simple effet de curiosité.

Au post-test, nous observons que 7 sujets sur 15 (30,4 % sur le total de l'échantillon) reproduisent de façon correcte la procédure de nettoyage des mains en respectant toutes les étapes et 1 sujet (4,3 % sur le total de l'échantillon) montre une amélioration de sa performance. Nous pouvons en conclure que 8 personnes sur 15 (34,7 % sur le total de l'échantillon) ont réalisé une meilleure performance au post-test ($\chi^2 = 5,3$; $p = .06$ à ddl 2) suite à la visualisation du panneau « procédure de lavage des mains ».

Inversement, 8 personnes sur 23 (34,7 % sur le total de l'échantillon) n'ont pas visualisé la procédure de lavage des mains. Par conséquent, seule une personne a obtenu une amélioration de sa performance au post-test (probablement en raison d'un phénomène de sensibilisation au problème de stérilité). En tout cas, cette amélioration n'a pas concerné les critères relatifs aux étapes prévues pour le nettoyage des mains ; au contraire, la personne a insisté sur la fréquence à laquelle les mains devaient être désinfectées.

De la même manière, nous nous sommes intéressés aux réactions des sujets qui accèdent à la procédure de lavage des mains. Plus spécifiquement, nous voulions comprendre quel pouvait être l'impact de la visualisation du panneau expliquant la procédure sur leur désir de vouloir reproduire cette procédure à l'intérieur de l'environnement simulé.

		Le sujet essaye de réaliser une procédure de lavage des mains		Total
		non	oui	
Le sujet clique sur le panneau qui décrit comment effectuer un lavage complet des mains	Non	7 87,5 %	1 12,5 %	8 100,0 %
	Oui	8 53,3 %	7 46,7 %	15 100,0 %
Total		15 65,2 %	8 34,8 %	23 100,0 %

Tableau 43 : *Désir de réaliser une procédure de lavage des mains après avoir consulté le panneau de « procédure de lavage des mains »*

Le tableau 43 révèle que sur les 23 personnes, 15 (65,2 %) ont spontanément accédé au panneau « procédure de lavage des mains » disponible dans la pièce N.C. 7 d'entre-elles (30,4 % sur le total de l'échantillon) ont essayé de réaliser une procédure de lavage des mains au sein de LabQuest: certains cliquaient à plusieurs reprises sur le lavabo ou sur le panneau, ou alors demandaient explicitement pourquoi il n'était pas possible de reproduire le geste. L'analyse qualitative des expériences dans le logiciel met en évidence un sentiment de frustration chez les sujets ayant accédé à la procédure de nettoyage des mains ($\chi^2 = 2.6$; $p = .101$ à ddl 1).

Suite aux deux observations précédentes, nous avons voulu vérifier la présence d'une corrélation entre l'envie de vouloir essayer de réaliser la procédure de lavage des mains dans LabQuest, et le fait de faire référence, au post-test, à une ou plusieurs règles relatives à la procédure en question.

		Le sujet fait référence aux règles de lavage des mains apprises pendant la formation avec LQ (durée, étapes)			Total
		non	oui	progression	
Le sujet essaye de réaliser une procédure de désinfection des mains	Non	10 66,7 %	3 20,0 %	2 13,3 %	15 100,0 %
	Oui	4 50,0 %	4 50,0 %	0 0,0 %	8 100,0 %
Total		14 60,9 %	7 30,4 %	2 8,7 %	23 100,0 %

Tableau 44 : Références aux règles de lavage des mains au post-test après avoir consulté le panneau de « procédure de lavage des mains »

Nous observons que 8 personnes sur 15 (34,7 %) ont essayé de réaliser une procédure de nettoyage des mains dans l'environnement 3D. Seules 4 (17,3 %) personnes ont montré une réelle progression de leur performance au post-test. Il n'y a donc pas de corrélation entre ces deux phénomènes (n.s.).

Impact de la répétition de la règle à voix haute sur la performance au post-test

Nous avons aussi voulu comprendre si le fait d'accéder spontanément et de visualiser, dans l'environnement 3D, des contenus pédagogiques (POI) qui n'étaient pas prévus dans la mission au point de départ, avait une influence sur la performance au post-test. Nous avons, en effet, observé qu'après avoir accédé au contenu pédagogique illustrant les principes d'habillage pour l'accès en zone stérile (habillage du haut vers le bas), certains sujets avaient tendance à répéter à voix haute la règle présentée « *du haut vers le bas, du haut vers le bas...* ». Nous avons donc cherché à comprendre si le fait de réitérer la règle avait un impact sur la performance de la personne dans la phase de post-test.



Figure 55 : Capture d'écran de l'habillage d'un utilisateur en train d'endosser le sous-vêtement d'usine pendant l'exploration de LabQuest

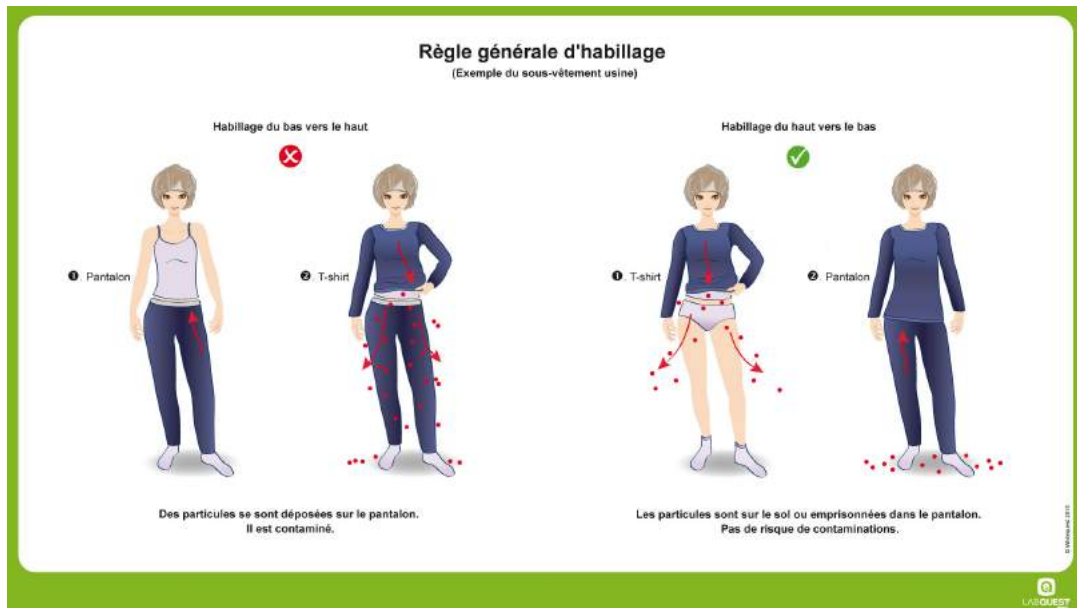


Figure 56 : Contenu pédagogique « règle d'habillage du haut vers le bas » dans LabQuest

		Le sujet se répète la règle pour ne pas l'oublier		Total
		Non	Oui	
Le sujet ouvre le POI « règle du haut vers le bas »	Non	5 100,0 %	0 0,0 %	5 100,0 %
	Oui	14 77,8 %	4 22,2 %	18 100,0 %
Total		19 82,6 %	4 17,4 %	23 100,0 %

Tableau 45: Impact de l'ouverture du POI sur la répétition de la règle à voix haute

Les résultats du tableaux 45 montrent que 18 sujets sur 23 (78,2 %) ont accédé spontanément au POI « habillage du haut vers le bas », et 4 (17,3 %) d'entre-eux ont réitéré la règle à haute voix. Par conséquent, nous considérons que le phénomène n'est pas assez fréquent pour pouvoir affirmer si le fait de réitérer la règle à voix haute a un impact sur la performance.

Traitement de la cagoule après avoir eu accès au POI

		Questionnement sur l'utilisation de la cagoule		Total
		Non	Oui	
Le sujet ouvre le POI « règle du haut vers le bas »	Non	5 100,0 %	0 0,0 %	5 100,0 %
	Oui	6 33,3 %	12 66,7 %	18 100,0 %
Total		11 47,8 %	12 52,2 %	23 100,0 %

Tableau 46 : Traitement de la cagoule après visualisation du POI « règle d'habillage du haut vers le bas »

Le tableau 46 relève que 18 sujets sur 23 (78,2 %) ont accédé au POI « règle d'habillage du haut vers le bas » sans qu'elle leur soit demandée. 12 d'entre-eux se sont questionnés sur la pertinence et les modalités d'intégration de la cagoule dans le processus d'habillage. Ces 12

personnes ont corrigé leurs pratiques erronées qu'elles avaient été appliquées avant la visualisation du contenu pédagogique, en déclarant explicitement qu'elles auraient dû d'abord passer la cagoule afin d'appliquer correctement la règle d'habillage « du haut vers le bas ». Il existe donc un lien entre le fait de visionner le contenu pédagogique et la réalisation correcte de la procédure d'habillage en intégrant la cagoule ($\chi^2 = 6,9$; $p < .01$ à ddl 1).

Traitement de la boîte de Pétri dans l'activité en LQ et résultats au post-test

Une autre question intéressante était d'essayer de comprendre quel pouvait être l'impact de la manipulation des éléments dans l'environnement virtuel sur la performance réalisée dans un environnement réel. En particulier, nous nous sommes demandés quelle influence pouvait avoir un apprentissage erroné sur la pratique de l'apprenant.

En effet, au cours de cette étude, nous avons observé que certains sujets rencontraient des difficultés dans la réalisation de la procédure de substitution de la boîte de Pétri. Comme nous l'avons déjà souligné, la directivité avec laquelle la procédure avait été imposée, y compris dans LabQuest, ne laissait pas la possibilité au sujet de déduire ou de comprendre la norme ou la règle sous-jacente. En d'autres termes, les raisons pour lesquelles on lui demandait d'effectuer un certain geste. Suite à nos observations pendant le déroulement du test, nous nous sommes demandés si le fait de réaliser une procédure erronée à l'intérieur de l'environnement simulé pouvait avoir une répercussion sur le résultat du post-test.

Pendant l'observation de l'activité des sujets en train d'effectuer la formation avec LabQuest, nous avons remarqué que certaines personnes n'ayant pas lu attentivement la consigne « réaliser la procédure de substitution de la boîte de Pétri », choisissaient la procédure d'installation de la boîte de Pétri (également disponible dans le document fourni à l'apprenant).

Nous avons jugé utile de reproduire dans la figure 57, les schémas des deux formes de comportements que nous avons observés au sein des deux groupes d'apprenants.

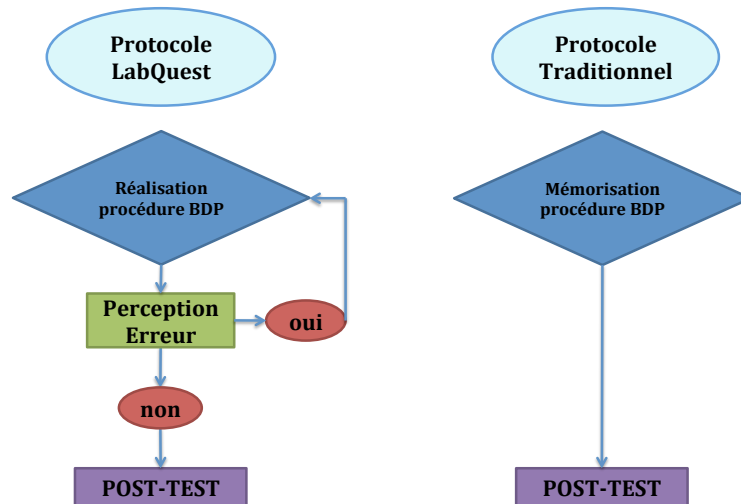


Figure 57 : Comportements des sujets observés lors de la procédure de substitution de la boîte de Pétri

Durant la formation réalisée avec l’outil de simulation LabQuest, nous avons observé deux cas :

- des personnes ayant effectué la procédure de substitution de la boîte de Pétri dans le SG une seule fois (19 sujets) ;
- des personnes qui, s’étant aperçues d’avoir commis une erreur, ont souhaité recommencer la manipulation (4 sujets).

A l’inverse, en ce qui concerne le protocole traditionnel, la totalité des sujets composant le groupe n’a adopté qu’une seule modalité de comportement consistant en une mémorisation de la procédure reproduite au post-test.

Nous avons ensuite relevé les erreurs commises au post-test, et avons comparé entre-elles les moyennes des erreurs réalisées dans les trois groupes :

- 22 personnes ayant réalisé une formation traditionnelle ;
- 19 personnes ayant réalisé une formation avec LabQuest, qui n’ont pas demandé à refaire la procédure de substitution de la boîte de Pétri (ne s’étant pas aperçues de leurs erreurs) ;
- 4 personnes ayant réalisé une formation avec le SG, qui ont demandé à refaire la procédure de substitution de la boîte de Pétri (elles se sont aperçues de leurs erreurs).

	LQ		TRAD N= 22
	3. BDP x 1 14. N= 19	5. BDP x 2 16. N= 4	
Erreurs moyennes au post-test	2,4	0,4	2,5

Tableau 47 : Erreurs moyennes commises dans l’échantillon

L’analyse des résultats du tableau 47 montre que les personnes ayant demandé à refaire la procédure de substitution de la boîte de Pétri, après s’être aperçues d’avoir réalisé une procédure erronée, ont commis moins d’erreurs lors du deuxième essai avec seulement 0,4

d'erreurs en moyenne au post-test. Les sujets n'ayant pas remarqué avoir réalisé une erreur pendant la réalisation de la procédure, font en moyenne 2,4 erreurs au post-test. Il n'y a pas de différence significative ($t = 1,07$; n.s.) entre ces derniers et les personnes ayant effectué une formation traditionnelle, qui totalisent une moyenne de 2,5 erreurs. Ces valeurs ne sont pas significatives en raison du peu de sujets ayant demandé à refaire la procédure de substitution de la boîte de Pétri ($n = 4$). En effet, les 4 sujets ayant demandé à refaire la procédure ont eu en commun le fait de se trouver face à une incohérence, une impasse de nature cognitive (la procédure demandait d'annoter la boîte de Pétri alors qu'elle avait déjà été annotée par le sujet, ou alors de fermer l'ancienne BDP alors qu'elle était déjà fermée, *etc.*). Suite à ce constat, les sujets ont tous manifesté une première réaction d'étonnement et de non-compréhension de la situation. Tous ont hésité à entrer en action pendant plusieurs secondes. Ils se sont finalement adressés au chercheur afin d'avoir une explication sur ce qu'il s'était passé et ils ont demandé à pouvoir refaire l'exercice.

Utilisation des miroirs

Suite à l'observation de l'activité des sujets ayant suivi une formation avec le SG, nous avons cherché à comprendre quel type d'utilisation les personnes faisaient des miroirs dans l'environnement 3D.

	Oui	Non
Utilisation des miroirs dans la simulation	12	11

Tableau 48 : Fréquence d'utilisation des miroirs dans la simulation

Parmi les 23 personnes ayant effectué le protocole LabQuest (*cf.* tableau 48), nous avons observé 12 personnes se servir du miroir pour deux raisons principales :

- contrôler l'état d'avancement de la procédure d'habillage ;
- nettoyer la surface.

Concernant la première manière d'utiliser les miroirs, nous avons noté que, tout au long de la phase d'habillage, 10 personnes ont regardé leur image réfléchie pour contrôler l'état de leur tenue. Ce comportement est très intéressant : il est en effet important de souligner la possibilité offerte au sujet de pouvoir contrôler l'état de l'avatar en cliquant tout simplement sur le menu « avatar » situé à gauche de l'écran (*cf.* figure 58). Néanmoins, ce menu n'est pas utilisé pour contrôler l'état d'avancement de l'habillage. Les utilisateurs préfèrent, au contraire, adopter la solution la plus proche de la vie réelle, même si elle est moins rapide. En effet, pour pouvoir se regarder dans le miroir, ils doivent y diriger l'avatar alors que cliquer sur le volet « avatar » n'exigerait qu'un simple clic.



Figure 58 : Capture d'écran de la personne en train de se regarder dans le miroir dans LabQuest

Voici donc des exemples qui montrent les réactions des sujets pendant l'activité dans LabQuest. Certains sujets ont explicitement verbalisé le fait d'utiliser les miroirs comme objets de contrôle : *« je pourrais vérifier dans le miroir, si je ressemble à ça mais, oui, je ressemble à ça ! »* ; *« Il manque un truc non ? La cagoule ! aha ! »* ; *« je suis censé avoir des gants jaunes, je suppose qu'il va y en avoir par la suite »*. D'autres ont montré une sorte de surprise en s'apercevant que l'image réfléchissait exactement leur tenue : *« ah, c'est moi ! »* ou *« c'est moi ? »*. Ces personnes ont basé leurs appréciations sur le fait que le SG représentait la réalité. Par exemple, *« même le coup des miroirs »* pour reprendre l'expression d'un participant à l'étude. Dans ce deuxième cas, la personne était positivement surprise du degré de réalisme offert par le logiciel.

Concernant la deuxième manière d'utiliser les miroirs, nous avons observé 2 personnes utiliser le miroir dans le but de le nettoyer. N'étant pas développé pour cette finalité, cette action n'a pas pu être enregistrée par le système avec succès, dans le sens où l'action a pu être effectuée dans la simulation, mais elle n'a pas été tracée. Néanmoins, ce phénomène a pu mettre en évidence une véritable implication de la personne, avec une détermination à mettre en œuvre le contenu pédagogique offert par l'outil de formation. Comme nous l'avons déjà mentionné, ces personnes ont manifesté une grande frustration due à l'impossibilité d'exécuter dans le logiciel la tâche apprise.

Suite à cette observation, nous pourrions avancer l'hypothèse de l'efficacité immersive de la personne au sein du SG, étant donné que la personne utilise les miroirs dans l'environnement 3D comme elle le ferait dans sa vie réelle.

Stratégies de mémorisation de la procédure de substitution de la BDP dans le cas du protocole traditionnel

Pendant l'observation, nous nous sommes intéressés aux stratégies qui ont été mises en œuvre pour la mémorisation de la procédure dans le cas de la formation traditionnelle. Nous demandions à ces sujets de lire les procédures et de les mémoriser afin de pouvoir les reproduire dans la vie réelle. D'autres ont d'abord lu le document puis ont fermé les yeux. Certains ont parcouru le document de façon non-linéaire en « sautant » d'un paragraphe à l'autre. D'autres encore ont souligné le texte avec des couleurs. Enfin, certains ont mimé l'action pendant la lecture.

Nous avons successivement demandé aux personnes de nous évoquer leur expérience d'apprentissage. La question était assez imprécise pour laisser les personnes suffisamment libres de nous communiquer les thèmes qui leur semblaient les plus proches. Dans certains cas, elles décrivaient la méthode utilisée pour la mémorisation des procédures. Par exemple l'une affirmait : « *pour apprendre des procédures, je les chante dans ma tête* », alors que l'autre disait : « *je visualise mentalement la procédure et puis j'essaye de la reproduire* ». Pendant la lecture du document, nous avons effectivement observé ce même sujet reproduire des mouvements qui simulaient la manipulation de la boîte de Pétri. Il convient cependant préciser que les sujets qui recherchaient les informations de manière déstructurée (et aussi un peu aléatoire) sont celles qui ont eu le plus de mal à réaliser correctement la procédure au post-test. Ces dernières sont ceux qui se sont le plus justifiés pour leur réalisation imparfaite de la procédure au post-test. Ils attribuant cette difficulté à l'outil traditionnel de formation qui leur avait été proposé.

Commentaires relevés dans les deux groupes

Nous avons pris note des commentaires que les sujets ont exprimés tout au long du test. Nous avons décelé six types de réactions que les sujets ont eues par rapport à l'expérience vécue. Le tableau 49 illustre les commentaires effectués par les personnes ayant effectué le protocole de test avec LabQuest comme support.

Protocole LQ	
Considérations sur sa propre performance	<i>« J'ai sûrement oublié des erreurs. Sur l'ordinateur ça se fait trop vite »</i> <i>« J'ai sûrement fait des distractions »</i>
Considération sur l'apprentissage	<i>« C'est plus facile pour moi d'apprendre à l'ordinateur. Il est beaucoup plus intuitif »</i> <i>« Le fait d'avoir des images et de pouvoir les refaire dans le logiciel permet de rendre l'apprentissage plus concret »</i> <i>« Le nettoyage de la vitre est un geste plus commun dans la vie de tous les jours »</i> <i>« J'aimerais avoir une explication de la finalité de chaque objet »</i> <i>« Une liste des choses à faire dans la vie réelle intégrée dans le SG ».</i>
Interface Homme-Machine	<i>« Les boîtes de Pétri sont difficiles à distinguer. J'ai fait confusion »</i> <i>« Parfois c'était compliqué de cliquer sur les objets »</i> <i>« J'ai sûrement oublié des erreurs. Sur l'ordinateur ça se fait trop vite »</i> <i>« J'ai du mal avec le clic sur les objets ».</i> <i>« Le déplacement, il est un peu difficile, peut-être il faudrait faire une marge un peu plus épaisse ou alors un système d'accélération quand on se déplace davantage vers les bords de l'écran ».</i>

Tableau 49 : Commentaires des sujets ayant effectué le protocole LabQuest

Pour les sujets ayant effectué la formation LabQuest, nous remarquons des commentaires repartis de façon égale entre les problèmes rencontrés au niveau de l'interface homme-machine et les stratégies d'apprentissage utilisées ou envisagées. Un plus petit nombre de commentaires a été fait en lien avec la performance de l'individu.

Les informations recueillies peuvent être résumées de la manière suivante :

- concernant les considérations sur leur propre performance, deux sujets ont un doute sur le fait d'avoir prêté attention à tous les contenus de façon appropriée ;
- concernant l'apprentissage, les sujets semblent apprécier le dispositif car il leur permettrait de le situer de façon plus pratique. Néanmoins, ils déclarent avoir besoin d'une explication plus approfondie sur la finalité de chaque objet disponible dans l'environnement et proposent une liste de vérification qui accompagne la personne dans la réalisation de la procédure de façon à pouvoir contrôler que toutes les étapes indispensables sont réalisées correctement ;
- concernant l'interface homme-machine, les sujets ont émis des commentaires sur les modalités d'interaction avec les objets qui semblent avoir été problématiques pour eux. Par conséquent, ils proposent des modalités d'interaction plus efficaces, selon eux, pour une meilleure immersion dans le logiciel.

Le tableau 50 propose une synthèse des réactions des sujets ayant réalisé la formation avec le protocole traditionnel.

Protocole TRAD	
Considérations sur le travail en salle blanche	« C'est chaud de travailler dans un labo ». « Je plains le mec qui doit lire tout ça »
Considération sur la formation	« Le texte me saoule ... Moi, je suis un menuisier ! » « La deuxième tâche (BDP) est plus facile » « Ce test c'est trop long, je suis en vacances voyons » « Quand même il y a beaucoup de bla bla pour dire des choses simples » « Il faut tout lire ? Mais c'est chiant ! ». « Dis donc, il y en a des choses à lire ! ça ne donne pas envie de nettoyer » « C'est confus. Le texte n'est pas vraiment précis » « Je ne suis pas sûre de tout bien comprendre » « Oh, put*** ». (il s'agit de la réaction de la personne à la vue du document à lire pour l'apprentissage des procédures) « Punaise, je ne suis pas sûre de tout comprendre » « Ah, c'est long ! » « C'est quoi une zone A/B ? » « Put***, ce n'est pas très agréable à lire » « Ouh-lààà, c'est long ! » « C'est chiant, je plains le mec qui doit lire tout ça ».
Considération sur sa compréhension	« Je ne suis pas sûre de tout bien comprendre » « Punaise, je ne suis pas sûre de tout comprendre » « C'est quoi une zone A/B ? ».

Tableau 50 : Commentaires des sujets ayant effectué le protocole traditionnel

Il est possible de remarquer que les commentaires effectués par les sujets ayant réalisé une formation traditionnelle concernent, pour la plupart, le ressenti et leur opinion personnelle concernant l'outil de formation lui-même. D'autres commentaires (moins nombreux) concernent les spécificités des conditions de travail en salle blanche. Des commentaires au sujet de la difficulté de comprendre certains passages proposés par le texte ont aussi été exprimés (cf. tableau 50) :

- les sujets ayant effectué le test font des commentaires concernant la difficulté de travailler en zone aseptique due à la quantité de normes et de règles à retenir ;
- les commentaires effectués sur la formation elle-même montrent que les sujets ne sont pas du tout à l'aise avec la quantité d'informations qu'ils ont dû « absorber », mais surtout avec le langage avec lequel des concepts simples sont présentés dans le texte ;
- les commentaires concernant la compréhension du texte montrent une non-confiance des sujets à l'égard de leurs propres compétences. Ils ont dû remettre en question leur aptitude à comprendre et, au contraire des sujets ayant effectué le protocole LabQuest, ils ne sont pas en mesure de critiquer l'outil pédagogique pour augmenter son efficacité.

7.2.5. Analyse qualitative et quantitative de la verbalisation pendant l'exploration de LabQuest (23 sujets)

A l'occasion de la retranscription des traces audio/vidéo enregistrées pendant l'exploration du SG, nous avons remarqué que les sujets avaient développé une importante activité de verbalisation, d'où l'hypothèse que cette verbalisation était en quelque sorte corrélée avec un phénomène de résolution de problème (*problem solving*). Par conséquent, dans le but de vérifier la validité de cette hypothèse, nous avons réalisé une analyse exploratoire des données (*Exploratory Data Analysis* ; Tukey, 1980), afin de mettre en évidence la présence de différentes catégories de verbalisation concomitantes à l'exploration de l'environnement. Lors de cette analyse, nous avons effectivement repéré cinq différentes modalités de verbalisation que les sujets avaient réalisées lors de leur formation avec le SG. Ce que nous présentons ci-dessous consiste en une analyse préliminaire de la verbalisation des sujets, qui ne s'appuie (pas encore à ce stade de la recherche) sur un modèle théorique précis. Notre but est, plus simplement, de décrire un phénomène avec des moyens méthodologiques et des concepts, certes moins développés par rapport aux autres cadres théoriques de cette thèse, dans la perspective de mieux comprendre la face cachée de cette verbalisation.

En partant de cette observation, nous avons re-codifié les textes retranscrits pour chaque test réalisé en les répartissant dans les cinq catégories suivantes :

1. résolution de problèmes à voix haute : la personne fait l'analyse de la situation proposée et cherche à argumenter à voix haute une stratégie de résolution du problème auquel elle est confrontée ;
2. verbalisation des émotions primaires (par exemple, enthousiasme, rage, frustration, surprise) : la personne a une réaction spontanée face aux éléments de l'environnement qui surviennent à un moment donné ;
3. communication indirecte avec le chercheur, orientée ou juste énoncée vers le SG : cette stratégie de communication pourrait être confondue avec la résolution de problèmes. En réalité la personne emploie des stratégies de communication indirectes dans le but d'informer l'interlocuteur à propos d'un problème, mais sans vouloir entrer dans une communication directe ;
4. communication directe avec le chercheur : dans ce cas, la personne installe une communication directe avec le chercheur dans le but d'obtenir des informations, de poser des questions ou de clarifier une action ;
5. lecture à voix haute des textes dans le SG : la personne lit à voix haute les textes qu'il découvre lors de son exploration du SG.

Dans un premier temps, nous avons réalisé une analyse descriptive de la fréquence d'apparition de la verbalisation pendant la période d'exploration. Comme le relève le tableau 51, la moyenne de l'ensemble des verbalisations de tout l'échantillon est de 23,6 par sujet. Néanmoins, un écart-type de 15,5 nous montre qu'il n'existe pas d'homogénéité dans l'échantillon. Nous pouvons remarquer que la verbalisation la plus fréquente est celle de la communication indirecte. Nous trouvons ensuite l'expression verbale d'émotions primaires, puis les questions directes à l'interlocuteur, la lecture à voix haute des textes et enfin, de manière surprenante à nos yeux, la résolution des problèmes à voix haute, que nous supposions être la composante principale de la verbalisation.

	Nbre	Min.	Max.	Moyenne	Ecart-type	Total
Résolution des problèmes à voix haute	23	0	7	2,43	2,41	56
Emotions primaires (enthousiasme, rage, frustration, surprise)	23	0	24	5,96	6,09	137
Communication indirecte	23	0	16	7,70	4,90	177
Questions directes	23	0	18	5,74	4,72	132
Lecture à voix haute des textes	23	0	12	3,09	3,49	71
Total des phrases prononcées	23	2	49	23,61	15,55	543

Tableau 51 : *Statistiques descriptives des catégories de verbalisations réalisées lors de l'exploration*

Dans un deuxième temps, en partant de ces données, nous avons voulu vérifier l'existence d'une possible corrélation entre les différentes catégories de verbalisation. Dans ce but, nous avons appliqué le test de corrélation de Pearson (*cf.* tableau 52). Des résultats très intéressants ont été mis en évidence, dont nous donnons une première interprétation. Toutefois, des études complémentaires seraient nécessaires pour les approfondir.

Exploration du Serious Game

	Résolution des problèmes à voix haute	Emotions primaires	Communication indirecte	Questions directes	Lecture à voix haute des textes	Total des phrases prononcées
Résolution des problèmes à voix haute	1	,500*	,343	,598**	,547**	,755**
p		(1) ,015	,109	(2) ,003	(3) ,007	,000
Emotions primaires	,500*	1	,550**	,317	,471*	,805**
p	,015		(4) ,007	,140	(5) ,023	,000
Communication indirecte	,343	,550**	1	,132	,467*	,650**
p	,109	,007		,549	,025	,001
Questions directes	,598**	,317	,132	1	,357	,627**
p	,003	,140	,549		,094	,001
Lecture à voix haute des textes	,547**	,471*	,467*	,357	1	,708**
p	,007	,023	(6) ,025	,094		,000
Total phrases énoncées	,755**	,805**	,650**	,627**	,708**	1
p	,000	,000	,001	,001	,000	

Tableau 52 : Corrélations entre les cinq catégories de verbalisation

*.05 significativité (2-code).

**.01 significativité (2-code).

Les données du tableau 52 révèlent :

En **(1)** une corrélation significative entre la résolution de problèmes à voix haute et la verbalisation des émotions primaires ($\chi^2 = 0,55$; $p < .05$). L'explication de cette corrélation pourrait être liée au fait que les personnes ayant réalisé une résolution de problèmes à voix haute, et n'ont donc pas de difficultés pour exposer leur stratégie de réflexion au jugement d'une tierce personne, sont les mêmes qui sont les plus extravertis pour l'expression de leurs émotions.

En **(2)** la résolution de problèmes à voix haute est également corrélée positivement avec le nombre de questions directes que le sujet pose au chercheur pendant la période d'exploration du SG ($\chi^2 = 0,59$; $p < .01$)., Nous pouvons de ce fait avancer l'hypothèse que les personnes qui demandent ouvertement des renseignements au chercheur le font dans le but d'informer leur interlocuteur sur la stratégie de résolution qu'ils comptent mettre en œuvre dans une logique de légitimation des questions posées.

En **(3)** une corrélation positive entre la résolution de problèmes à voix haute et la lecture à voix haute des textes ($\chi^2 = 0,54$; $p < .01$). Ce résultat pourrait expliquer une tendance générale de la personne à la verbalisation durant une situation de défi. En effet, ces personnes lisent très souvent le texte à voix haute et commentent immédiatement après la situation en essayant de trouver une solution. A cet égard, nous formulons l'hypothèse que cette verbalisation du processus de résolution de problèmes vise à installer un dialogue indirect avec le chercheur afin de susciter son approbation. Une autre explication pourrait être que la lecture à haute voix des contenus du SG serait en mesure d'améliorer le succès de la personne dans l'exercice de

résolution de problèmes. La littérature classique explique comment le « *thinking aloud* » (Klein, 2008) conforterait ce phénomène.

En (4) une intéressante corrélation positive entre la verbalisation des émotions primaires et la communication indirecte ($\chi^2 = 0,55$; $p < .01$). En effet, les personnes qui ont spontanément exprimé une émotion primaire (la colère, la frustration, la surprise, l'euphorie, *etc.*) ont été celles qui ont donné l'impression d'avoir attribué une intentionnalité aux objets. Cette combinaison de phénomènes (émotions + attribution d'intentionnalité) pourrait être liée à une meilleure immersivité dans le SG. Pour confirmer l'existence d'une corrélation entre ce résultat et le sentiment d'immersivité, nous avons souhaité les recroiser avec le comportement de « se regarder au miroir », déjà signalé comme potentiel indice d'immersivité. Aucune significativité entre ces deux facteurs n'a été décelée.

En (5) la verbalisation des émotions primaires est aussi significativement corrélée avec la lecture des textes ($\chi^2 = 0,47$; $p < .05$). Par l'analyse de ce résultat, nous pouvons proposer l'hypothèse que les personnes plus extraverties, qui sont les plus sujettes à exérioriser leurs émotions, ont davantage tendance à soutenir leur exploration, en cherchant à communiquer avec leur interlocuteur en utilisant la stratégie de la lecture à voix haute.

En (6) une corrélation positive a été mise en évidence entre la lecture à voix haute des textes et la communication indirecte avec le chercheur ($\chi^2 = 0,46$; $p < .05$). Nous proposons l'hypothèse que les personnes qui mobilisent les deux formes de verbalisation (lecture à voix haute et communication indirecte) ont le souci d'inclure l'interlocuteur dans l'activité de jeu en le rendant actif.

7.2.6. Observation d'une formation en entreprise (*in vivo*)

7.2.6.1. Méthodologie d'observation

Afin de comprendre comment ce dispositif de formation peut s'intégrer dans le cadre d'une formation réelle, nous avons organisé une séance de formation au sein de l'une de nos entreprises clientes. La session de formation que nous avons organisée était destinée à 30 collaborateurs d'une grande entreprise pharmaceutique. Aucun enregistrement vidéo, ni audio n'a pu être réalisé pour des raisons de confidentialité. Nous avons donc pris des notes manuelles.

Un questionnaire de satisfaction a été distribué à la fin de la formation, afin de recueillir les perceptions des participants à la formation. Dans le questionnaire, les opérateurs étaient censés donner leur avis en notant leur degré de satisfaction sur une échelle likert à 5 points (1= Très satisfait ; 2 = Assez satisfait ; 3 = Ni satisfait ni pas satisfait ; 4 = Peu satisfait ; 5 = Pas du

tout satisfait). Au travers du questionnaire nous avons demandé aux apprenants d'évaluer les suivants items :

- La pertinence de l'approche pédagogique (simulation)
- La pertinence des contenus de la formation
- La qualité de l'intervenant
- La qualité des échanges
- Le rythme de formation
- La durée de la formation

La deuxième partie du questionnaire, demandait aux apprenants de répondre affirmativement ou négativement (Oui, Non) aux questions suivantes :

- Avez vous l'impression que cette formation va vous aider dans votre travail quotidien en entreprise ?
- Recommanderiez-vous ce type de formation à des collègues d'autres entreprises pharmaceutiques ?

La dernière partie du questionnaire exigeait que la personne choisisse trois mots-clés pour décrire sa propre expérience de formation avec LabQuest.

7.2.6.2. Observation pendant la formation

Les apprenants ont accueilli la formation non sans quelques *a priori* : en effet, les employés travaillant dans les entreprises pharmaceutiques ont l'habitude d'être confrontés à des problèmes pratiques qui, assez souvent, ne sont pas pris en considération lors de leurs sessions de formation, souvent perçues comme trop « théoriques » et « abstraites ». Pour cette raison, toute nouvelle proposition offerte par leurs formateurs est vécue comme une contrainte plus qu'une opportunité.

En début d'exercice, il était demandé aux apprenants de se rendre directement dans la ZAC A/B (*cf.* plan de l'usine figure 14, p. 163) afin de découvrir la machine modélisée dans le SG et les dispositifs présents, sans s'arrêter dans les pièces intermédiaires de l'univers virtuel. Néanmoins, 30 personnes sur 30 (100 %) ont entamé une procédure d'habillage dans la pièce non classée (*cf.* plan de l'usine). Suite aux instructions des formateurs, leur recommandant de se rendre dans la ZAC, seuls les 2/3 (20 personnes) d'entre-eux ont abandonné la finalisation de la procédure d'habillage. Les autres, à savoir le 1/3 (10 personnes) restant, contrairement à ce qui leur avait été demandé à plusieurs reprises, a finalisé complètement la procédure d'habillage avant de se rendre dans la ZAC. Cette observation montre combien, pour les personnes explorant le SG, la découverte des possibilités offertes par l'environnement et les objets présents est attractive, au point qu'elles décident délibérément de négliger les consignes du formateur au

profit de leur intérêt personnel. Nous excluons que ce comportement soit lié à un conditionnement professionnel en raison de la nature simulatrice de l'exercice et le briefing qui leur avait été imparti en début de séance.

Pendant la réalisation de la procédure, les sujets ont découvert un environnement légèrement différent de celui dans lequel ils avaient l'habitude de travailler. Probablement en raison de ce constat, pendant l'exploration, les personnes se sont spontanément organisées en sous-groupes de 3 à 4 afin d'échanger et de discuter ensemble par rapport à la variation des situations, et notamment de la réalisation des procédures et la résolution des problèmes. En phase de débriefing post-formation, les sujets ont admis que l'exercice qu'ils venaient de réaliser leur permettait de re-penser la résolution d'une situation problématique, en se référant et en rendant explicites les règles de base qui étaient « automatiquement » appliquées dans leur activité quotidienne, sans parfois une véritable compréhension de ces dernières.

Pendant l'exercice d'observation d'une tierce personne dans une vidéo lors d'une journée type de production en zone stérile, il a été demandé aux apprenants : 1° de détecter tous les comportements non-conformes réalisés par les acteurs et 2° de proposer la meilleure façon de résoudre le problème. Dans ce contexte, un phénomène très intéressant s'est fait jour : le groupe entier a réagi au même moment devant une scène montrant un opérateur en train de réajuster ses lunettes (cf. figure 59). En approfondissant cet événement avec les apprenants, l'un des plus anciens d'entre eux nous a expliqué que, dans leur entreprise, ce geste était non seulement toléré mais était, en plus, complètement normal. A la suite de cette observation, les autres sujets ont aussi confirmé que ce geste était quotidiennement réalisé. Pourquoi alors tous ensemble ont-ils réagi à cette scène ? Pour expliquer ce phénomène, nous formulons l'hypothèse que les apprenants, lors du visionnage de la vidéo, ont réalisé un changement de point de vue qui leur a permis de signaler un comportement « idéalement » non-conforme dans une situation-type, même s'il est totalement toléré dans leur environnement habituel de travail. En effet, dans cette situation, les sujets ont jugé l'attitude de l'acteur dans la vidéo en le situant dans l'environnement réel et en faisant rejaillir les règles et les standards absolus et non pas ceux qui sont spécifiques à leur propre pratique.



Figure 59 : Capture d'écran d'un opérateur en train de se réajuster le masque de vision dans LabQuest

D'une manière plus générale, nous avons remarqué une tendance des apprenants à comparer leur environnement de travail avec celui proposé par le SG. Cette tendance, non seulement ne crée ni incompréhension ni incohérence, mais participe au contraire à la clarification des significations plus profondes des règles sous-jacentes aux pratiques quotidiennes. En effet, nous avons remarqué que cette comparaison permettrait à l'apprenant de formuler une pensée à voix haute et d'ouvrir le débat concernant la meilleure façon de faire (*the best way to do*) dans leurs pratiques quotidiennes.

7.2.6.3. Réponses aux questionnaires de satisfaction post-formation

Nous présentons ci-dessous les résultats des réponses au questionnaire de satisfaction qui a été proposé aux apprenants à la fin de la formation avec LabQuest.

	Fréquences	Pourcentages	Pourcentages cumulés
Très satisfait	18	60,0	60,0
Assez satisfait	11	36,7	96,7
Ni satisfait ni non satisfait	1	3,3	100,0
Total	30	100,0	

Tableau 53 : La pertinence de l'approche pédagogique

En ce qui concerne la pertinence de l'approche pédagogique perçue par les apprenants, nous pouvons observer que 60 % de la population d'apprenants (soit 18 sujets) se déclarent « très satisfait » et 36,7 % se déclarent « assez satisfait ». Ce qui conduit à un résultat de 96,7 % de personnes qui ont trouvé la formation, dans son approche pédagogique, globalement positive (ce qui signifie que seulement 1 personne n'a pas d'avis à ce sujet).

	Fréquences	Pourcentages	Pourcentages cumulés
Très satisfait	17	56,7	56,7
Assez satisfait	12	40,0	96,7
Ni satisfait ni non satisfait	1	3,3	100,0
Total	30	100,0	

Tableau 54 : La pertinence du contenu de la formation

En ce qui concerne la pertinence du contenu de la formation perçue par les apprenants, nous pouvons observer que 56,7 % de la population d'apprenants (soit 17 sujets) se déclarent « très satisfait » et 40 % se déclarent « assez satisfait ». Ce qui amène, comme précédemment, à un résultat de 96,7 % de personnes qui ont trouvé la formation, dans ses contenus, globalement positive (ce qui signifie que seulement 1 personne n'a pas d'avis à ce sujet).

	Fréquences	Pourcentages	Pourcentages cumulés
Très satisfait	15	50,0	50,0
Assez satisfait	13	43,3	93,3
Ni satisfait ni non satisfait	1	3,3	96,7
Peu satisfait	1	3,3	100,0
Total	30	100,0	

Tableau 55 : Le niveau technique de la formation

En ce qui concerne le niveau technique perçue de la formation perçue par les apprenants, nous pouvons observer que 50 % de la population d'apprenants (soit 15 sujets) se déclarent « très satisfait » et 43,3 % se déclarent « assez satisfait ». Par niveau technique nous entendons la facilité avec laquelle les apprenants prennent en main le logiciel. Une nouvelle fois, 96,7 % de personnes ont trouvé la formation, dans son niveau technique, globalement positive (ce qui signifie que seulement 1 personne n'a pas d'avis à ce sujet).

	Fréquences	Pourcentages	Pourcentages cumulés
Très satisfait	24	80,0	80,0
Assez satisfait	5	16,7	96,7
Ni satisfait ni non satisfait	1	3,3	100,0
Total	30	100,0	

Tableau 56 : La qualité de l'intervenant

En ce qui concerne la qualité des intervenants perçue par les apprenants, 80 % de la population d'apprenants (soit 24 sujets) se déclarent « très satisfait » et 16,7 % se déclarent « assez satisfait ». Ce qui amène à un résultat de toujours 96,7 % de personnes qui ont trouvé la

qualité des intervenant, globalement positive (ce qui signifie que seulement 1 personne n'a pas d'avis à ce sujet).

	Fréquences	Pourcentages	Pourcentages cumulés
Très satisfait	22	73,3	73,3
Assez satisfait	8	26,7	100,0
Total	30	100,0	

Tableau 57 : La qualité des échanges

73,3 % de la population d'apprenants (soit 73 sujets) se déclare « très satisfait » de la qualité des échanges qui se sont déroulés pendant la formation et 26,7 % se déclarent « assez satisfait », pour un total de 100 % des sujets ayant eu une impression positive.

	Fréquences	Pourcentages	Pourcentages cumulés
Très satisfait	15	50,0	50,0
Assez satisfait	13	43,3	93,3
Ni satisfait ni non satisfait	2	6,7	100,0
Total	30	100,0	

Tableau 58 : Le rythme de la formation

50 % des sujets (15 sujets) se déclarent « très satisfait » du rythme de la formation. 43 % (13 sujets) se déclarent « assez satisfait » de son rythme. 6,7 % n'a pas d'avis à ce sujet. Dans ce cas aussi nous observons que 93,3 % de la population a une perception globalement positive du rythme de la formation.

	Fréquences	Pourcentages	Pourcentages cumulés
Très satisfait	11	36,7	36,7
Assez satisfait	13	43,3	80,0
Ni satisfait ni non satisfait	3	10,0	90,0
Peu satisfait	3	10,0	100,0
Total	30	100,0	

Tableau 59 : La durée de la formation

En ce qui concerne la durée de la formation, nous trouvons une hausse au 10 % (3 sujets) des personnes qui ne sont « ni satisfait ni pas satisfait » de la durée de la formation alors que 10 % de la population (3 sujets) se déclarent « peu satisfait de la durée de formation » – nous ne savons pas dans quels sens, si trop courte ou trop longue. 11 personnes (36,7 %) se déclarent « très satisfaites » en baisse par rapport aux résultats précédents, et 13 (43,3 %) de la population se déclare « assez satisfaite ». Globalement 80 % de l'échantillon se déclare satisfait de la durée de formation.

	Fréquences	Pourcentages	Pourcentages cumulés
Oui	28	93,3	93,3
Non	2	6,7	100,0
Total	30	100,0	

Tableau 60 : Réponse à la question « Avez-vous l'impression que cette formation va vous aider dans votre travail quotidien en entreprise ? »

A la question « Avez-vous l'impression que cette formation va vous aider dans votre travail quotidien en entreprise » 93,3 % de l'échantillon (28 sujets) y répond positivement et seules 6,7 % (2 personnes) y répondent négativement (*cf.* tableaux 60).

	Fréquences	Pourcentages	Pourcentages cumulés
Oui	30	100,0	100,0

Tableau 61 : Réponse à la question « Recommanderiez-vous ce type de formation à des collègues d'autres entreprises pharmaceutiques ? »

La totalité de l'échantillon recommanderait la formation avec le logiciel LabQuest aux collègues d'autres entreprises pharmaceutiques.

La conclusion générale que nous pouvons tirer à partir des données collectées à l'aide des questionnaires de satisfaction montre que les apprenants perçoivent la formation comme pertinente et utile.

Nous souhaitons maintenant mettre en relation ces données quantitatives avec les données qualitatives liées au choix laissé aux apprenants de caractériser leur expérience de formation par des mots-clés. Ces données figurent dans le tableau 62.

Mots-clés par sujet	Fréquence	Aire sémantique et total
1_Intéressant / interactif / concret	Redondante = 1	Adjectif négatif.
2_Agréable / pratique / objective		Tot. = 1
3_		
4_Intéressante / enrichissante / pédagogique	Générale = 1	Adjectifs factuels neutres.
5_Concrète / dynamique / différente	Objective = 1	Tot. = 6
6_Bien / instructif / ni trop longue, ni trop courte	Compréhensible = 1	
7_Pédagogique / dynamique / instructif	Visuel = 1	
8_	Ni trop longue ni trop	
9_	Courte = 1	
10_Interactif / compréhensible / intéressant / enrichissant	Ciblé = 1	
11_	Concret = 4	Adjectifs / noms factuels neutres de l'ordre du contenu situé du SG.
12_Sympathique / enrichissante / ludique	Pratique = 3	
13_Ludique / animation / intéressant	Habillage = 1	Tot. = 9
14_Efficace / utile / nécessaire	Technique = 1	
15_Synthétique / visuelle / concrète	Pédagogique = 3	Adjectifs / verbes / noms factuels de l'ordre de l'apprentissage.
16_	Instructif = 2	
17_	Réflexion = 1	Tot. = 7
18_Bien / enrichissante	Comprendre = 1	
19_Attractive / enrichissante / bien	Attractive = 1	Adjectifs / noms positifs de l'ordre du relationnel avec le SG et avec les autres apprenants.
20_Générale / redondante / utile	Ludique = 4	
21_Interactif / original / habillage	Sympathique = 1	
22_	Animation = 1	
23_Ciblé / échange / concret	Vivant = 1	Tôt. = 15
24_Visuel/ pédagogique / échange	Interactif = 3	
25_Enrichissante / ludique	Dynamique = 2	
26_Intéressant / Pratique / a refaire	Echange = 2	
27_Intéressant / Pratique / a refaire	Innovante = 1	Adjectif de l'ordre de la nouveauté.
28_Innovante / riche / rappel	Original = 1	
29_Réflexion / comprendre	Différente = 1	Tot. = 3
30_Technique / vivant / ludique	Intéressant/e = 6	Adjectifs/ verbes/ noms positifs relatifs à la situation d'apprentissage globale.
7 personnes n'ont pas rempli la section dédiée aux mots-clés.	Nécessaire = 1	
	Enrichissant = 6	Tôt. = 24
	Bien = 3	
	Utile = 2	
	Riche = 1	
	Efficace = 1	
	Agréable = 1	
	A refaire = 2	
	Rappel = 1	

Tableau 62 : Mots-clés relatifs à l'expérience de formation avec le logiciel LabQuest

Sur le tableau 62 nous avons catégorisé les mots-clés choisis par les apprenants à l'issue de leur la formation, en aires sémantiques. Nous retrouvons comme plus récurrentes la catégorie de termes positifs qui font référence à la situation d'apprentissage, pour un total de 24 termes. Parmi ces derniers les adjectifs « enrichissant » et « intéressant » sont les plus souvent

utilisés. Vient ensuite la catégorie des termes s'inscrivant dans l'ordre du relationnel. Parmi ceux-ci l'adjectif « ludique » est le plus utilisé (4 fois) suivi par celui d'« interactif » (3 fois). D'autres termes comme « dynamique » et « échange » sont aussi utilisés. Les adjectifs neutres décrivant les situations de simulations proposées (« concrète », « pratique ») ont été cités à 9 reprises, ce qui les situent en 3^{ème} position. Viennent ensuite les adjectifs, verbes, noms factuels de l'ordre de l'apprentissage (7). En avant dernière position nous retrouvons les termes neutres et factuels concernant l'apprentissage (6) et enfin, nous avons un adjectif négatif qui définit la formation avec LabQuest comme étant « redondante ».

D'après ces données nous pouvons affirmer que, de manière générale la formation avec LabQuest proposée *in vivo* aux opérateurs travaillant dans les entreprises pharmaceutiques est perçue positivement, notamment en termes d'apprentissage et en tant que moyen d'échange et d'interactivité. Ces données, bien que limitées en nombre, nous donnent une idée de la perception que les apprenants se font du logiciel à la suite d'une séance de formation. Nous pouvons affirmer, grâce à leurs réponses, que ses avantages perçus sont supérieurs à ses inconvénients.

7.2.6.4. La parole aux formateurs.

Au même titre que pour les opérateurs apprenants, nous avons réalisé une séance de formation à la prise en main du logiciel avec cinq formateurs, dans le but de comprendre quelle était leur perception du SG et dans quelle mesure ils se sentaient motivés à l'utiliser. Dans cet objectif nous leur avons demandé de remplir un questionnaire de satisfaction tel que nous l'avions proposé aux opérateurs avec de plus la possibilité de nous faire part de leurs idées concernant les possibilités d'améliorations du logiciel.

Voici les principaux enseignements de ce questionnaire :

En ce qui concerne la pertinence de l'approche pédagogique utilisée 3 formateurs sur 5 se déclarent « très satisfait » et les 2 restants se déclarent « assez satisfaits ».

3 formateurs sur 5 se déclarent « très satisfait » de la pertinence du contenu de formation et les 2 autres se déclarent « assez satisfait ».

Tous les 5 formateurs sont « très satisfaits » du niveau technique de la formation, de la qualité des intervenants et de la qualité des échanges.

Concernant le rythme de formation et sa durée, 4 formateurs sur 5 se déclarent très satisfaits et le 5ème se déclare assez satisfait.

Enfin, l'ensemble des formateurs (5 personnes sur 5) exprime le sentiment que cette formation va être utile pour le travail quotidien dans l'entreprise et se montre disposé à la recommander auprès de leurs collègues des autres entreprises pharmaceutiques.

Dans le tableau 63 il est possible de retrouver les conseils qui ont été fournis par les formateurs en matière d'amélioration du logiciel LabQuest. Nous y présentons ici les mots-clés qui ont été choisis pour décrire l'expérience de formation qu'ils venaient d'expérimenter.

Points d'amélioration de la formation	Mots-clés	Aire sémantique et total
Fournir les règles d'installation du système	Ludique Possibilités Immersion	<u>Adjectifs positifs de l'ordre du relationnel avec le SG :</u> Ludique = 2
Préparer au préalable les connexions – fournir au préalable les pré-requis	Innovant Ludique Multiples possibilités	Interactif/ interactivité = 2 Immersion = 1 Tot. = 5
Qu'on puisse « aménager » la zone de classe A et les autres classes en fonction de l'entreprise dans laquelle on travaille. Essayer que la zone blanche du simulateur puisse ressembler à la « vraie ». on pourrait choisir les machines, leur positionnement dans l'espace proposé.	Avenir Nouveauté interactif	<u>Adjectifs positifs de l'ordre de la nouveauté :</u> Nouveauté = 1 Innovant = 2 Avenir = 1 Créativité = 1 Tot. = 5
Je pense que si vous parveniez à proposer la mise en place de la zone de l'usine comme dans les Sims, cela pourrait plaire aux entreprises (ils pourraient recréer leurs univers). Proposer l'ensemble des documents à disposition des apprenants avec les explications pour les remplir	Interactivité Apprendre/découverte créativité	<u>Termes concernant les contenus pédagogiques :</u> Multiples/ Possibilités = 2 Apprendre/découverte = 1 Evolution formidable des formations de l'approche pédagogique aussi = 1 Tot. = 4
Avoir à disposition un support avec le contenu plus précis des contenus pédagogiques. Plus adaptable à la réalité de XXX (nom de l'entreprise).	Innovant Evolution formidable des formations de l'approche pédagogique aussi	

Tableau 63 : Réponses aux questionnaires de la part de 5 formateurs des entreprises pharmaceutiques

En analysant les déclarations concernant les points d'amélioration de LabQuest proposées par les cinq formateurs qui ont participé à cette expérimentation, deux conclusions peuvent être formulées : d'une part les formateurs demandent la possibilité de personnaliser davantage l'environnement virtuel pour qu'il ressemble le plus possible au leur (de leur entreprise), de l'autre ils souhaitent de ne pas être confrontés avec les problèmes techniques propres à l'installation du logiciel sur les ordinateurs. Cette étape s'impose en effet lors de la première utilisation de LabQuest.

En ce qui concerne les mots-clés choisis, nous pouvons observer une répartition plus ou moins homogène des termes en trois aires sémantiques : le premier est de l'ordre du relationnel (des apprenants avec le logiciel mais aussi entre-eux), le deuxième de l'ordre de la nouveauté, le dernier concerne la valeur pédagogique apportée.

Bien que limitées en nombre, ces données nous donnent une idée de la façon dont le logiciel est perçu par les formateurs. Nous pouvons en conclure que les avantages perçus supèrent les inconvénients techniques (dans ce cas spécifique).

7.2.7. Observations consécutives aux résultats de la procédure de substitution de la boîte de Pétri : vérification avec l'enfilage des sur-bottes

7.2.7.1. Protocole de la manipulation complémentaire

Lors de l'analyse des données, nous avons pu remarquer la présence d'un curieux phénomène. En effet, si l'on compare les deux tâches qui ont été réalisées dans le cadre du protocole expérimental principal de l'observation précédente, on s'aperçoit que la réalisation de la procédure de nettoyage d'une surface, selon qu'elle est faite dans le SG ou dans une formation traditionnelle, conduit à des différences significatives dans le développement des compétences professionnelles en faveur des sujets s'étant formés avec le SG, alors qu'aucune différence significative n'a été décelée pour la procédure de substitution de la boîte de Pétri. Nous avons déjà antérieurement (*cf* chapitre 7.2) avancé deux hypothèses susceptibles d'expliquer ce résultat. Nous les rappelons ici :

Hypothèse 1 : le protocole de test, mis en place pour la collecte des données, présente une petite faille ; entre la lecture du document de formation (protocole traditionnel) et la reproduction de la procédure en phase de post-test, aucune autre activité n'est proposée au sujet. Au contraire, dans le protocole LabQuest, entre la formation et le post-test, la personne se voit proposer la visualisation de la vidéo de détection des erreurs.

Hypothèse 2 : l'exercice de « substitution de la boîte de Pétri » est fondamentalement une tâche d'exécution pas à pas de type directif. Contrairement aux autres activités proposées dans le SG, il est demandé au sujet de reproduire une procédure sans qu'il ait accès à l'explication des principes fondamentaux qui la justifient. Cependant, la personne ne réfléchit pas au sens de ses actes, mais s'en tient à un protocole imposé par l'autorité, sans devoir en déduire une règle sous-jacente.

Afin de mieux comprendre cet écart de performance entre l'une et l'autre procédure, nous avons souhaité mettre en œuvre une observation complémentaire pour : 1° vérifier la présence d'éventuels biais dus au laps de temps entre la lecture de la procédure qui, lors du protocole expérimental principale, auraient pu influencer la validité du test (hypothèse 1) et 2° confirmer que si le même phénomène se reproduisait une nouvelle fois, il ne s'agirait pas d'un effet isolé. En ce qui concerne l'hypothèse 1, nous pensons qu'un résultat analogue à celui de l'observation principale prouverait que le temps de latence entre la lecture de la procédure et la mise en pratique de la procédure (d'environ 4-5 minutes) n'a pas d'impact sur sa mémorisation, étant donné que, dans cette observation de vérification, aucun temps de latence ne sera prévu. Cette nouvelle observation a été effectuée sur un échantillon de 10 personnes : le choix de limiter la

taille de l'échantillon à un petit nombre de sujets est lié au fait qu'à l'issue de la réalisation de ces tests un cadre déjà bien clair apparaissait statistiquement.

Protocole de test - manipulation	
Formation	
Groupe LabQuest – 5 sujets	Groupe traditionnel – 5 sujets
L'objectif de cet exercice était de réaliser une procédure d'enfilage des sur-bottes. Dans ce but, le sujet reçoit une procédure qui lui explique pas à pas comment réaliser cet enfilage. A l'aide de cette procédure écrite, le sujet devait lire les instructions et les appliquer de façon simultanée dans l'environnement virtuel.	L'objectif de cet exercice était de réaliser une procédure d'enfilage des sur-bottes. Dans ce but, le sujet reçoit une procédure qui lui explique pas à pas comment réaliser cet enfilage. Cette procédure devait être apprise par cœur dans un premier temps.
La procédure écrite	
1. Se désinfecter les mains 2. Saisir les sur-bottes dans l'armoire à vêtements 3. Désinfecter le banc 4. Déposer les sur-bottes sur le banc 5. S'asseoir sur le banc 6. Enfiler l'une et l'autre sur-botte en franchissant le banc 7. Se désinfecter les mains	
Test	
Il a été demandé aux deux groupes de réaliser, dans un environnement réel qui reproduit le sas d'une entreprise pharmaceutique, la procédure d'enfilage des sur-bottes. Pour réaliser, cette procédure la personne avait à sa disposition : - un banc - des sur-bottes - une armoire sur laquelle les sur-bottes étaient posées - une ligne de démarcation au sol - un gel hydro-alcoolique - des lingettes	

Tableau 64 : Protocole de test relatif à la manipulation complémentaire

7.2.7.2. Codage des données

La procédure d'enfilage des sur-bottes a été suivie au moyen d'une grille d'observation dans laquelle chaque geste (micro-tâche) a été jugé comme étant : « bien exécuté », « mal exécuté », « bien exécuté, mais au mauvais moment », « hésitation ». Contrairement à ce qui a été fait pour l'observation principale, les sujets n'ont pas été filmés.

De même que pour l'observation principale, nous avons procédé à l'attribution d'une note à la performance de la personne :

- 1 point pour la tâche bien exécutée ;
- 0 point pour la tâche mal exécutée ;
- 0,5 point pour l'hésitation (indépendamment de la réussite de la tâche) ;
- 0,25 point pour la tâche bien exécutée mais au mauvais moment.

7.2.7.3. Analyse des résultats

Aussi bien que pour le protocole expérimental principal, nous avons appliqué le test de Pearson pour vérifier l'existence d'une corrélation entre la formation et le résultat des performances au post-test.

Comme nous pouvons l'observer dans les tableaux ci-dessous, aucune différence significative n'a été observée. En ce qui concerne la première tâche « désinfection des mains », aucune différence n'a été observée entre les deux groupes (LabQuest et traditionnel). 100 % des sujets (10 personnes sur 10) ont réalisé cette action correctement.

	LabQuest	Traditionnel	Total
Oui	5	5	10
Se désinfecter les mains	50,0%	50,0%	100,0%
Total	5	5	10
	50,0%	50,0%	100,0%

Tableau 65 : Résultats relatifs à la tâche « désinfection des mains »

En ce qui concerne la deuxième tâche « saisie des sur-bottes dans l'armoire » aucune différence n'a été observée entre les deux groupes (LabQuest et traditionnel). 80 % des sujets (4 sujets formés avec LabQuest et 4 sujets ayant reçu une formation traditionnelle) ont réalisé correctement cette tâche.

	LabQuest	Traditionnel	Total
Oui	4	4	8
Saisir les sur-bottes dans l'armoire de vêtements	50,0%	50,0%	100,0%
Hésitations	1	1	2
	50,0%	50,0%	100,0%
Total	5	5	10
	50,0%	50,0%	100,0%

Tableau 66 : Résultats relatifs à la tâche « saisie des sur-bottes dans l'armoire des vêtements »

Concernant la troisième tâche « désinfection du banc », aucune différence n'a été observée entre les deux groupes (LabQuest et traditionnel). 100 % des sujets (10 personnes sur 10) ont réalisé correctement cette action.

	LabQuest	Traditionnel	Total
Oui	5	5	10
Désinfecter le banc	50,0%	50,0%	100,0%
Total	5	5	10
	50,0%	50,0%	100,0%

Tableau 67 : Résultats relatifs à la tâche « désinfection du banc »

La quatrième tâche « déposer les sur-bottes sur le banc » a vu la réalisation de comportements plus diversifiés. Une seule personne ayant suivi une formation traditionnelle n'a pas réalisé la tâche. 4 personnes (2 sujets formés avec LabQuest et 2 sujets formés de façon

traditionnelle) ont réalisé l'action correctement. De même, 4 sujets ont montré des hésitations dans l'accomplissement de cette tâche (2 sujets formés avec LabQuest et 2 sujets formés de façon traditionnelle).

	LabQuest	Traditionnel	Total
Non	0 0,0%	1 100,0%	1 100,0%
Oui	2 50,0%	2 50,0%	4 100,0%
Déposer les sur- bottes sur le banc	1 100,0%	0 0,0%	1 100,0%
Pas au bon moment	2 50,0%	2 50,0%	4 100,0%
Hésitations	5 50,0%	5 50,0%	10 100,0%
Total	5 50,0%	5 50,0%	10 100,0%

Tableau 68 : Résultats relatifs à la tâche « déposer les sur-bottes sur le banc »

Concernant la cinquième tâche « s'asseoir sur le banc », nous observons qu'un seul sujet ayant été formé avec LabQuest n'a pas exécuté la tâche correctement (la personne a enjambé le banc sans s'asseoir dessous). 4 sujets ayant été formés avec LabQuest et 4 sujets ayant suivi une formation traditionnelle ont réalisé correctement la tâche (80 %). Un seul sujet ayant suivi une formation traditionnelle a montré une hésitation.

	LabQuest	Traditionnel	Total
Non	1 100,0%	0 0,0%	1 100,0%
Oui	4 50,0%	4 50,0%	8 100,0%
S'asseoir sur le banc	0 0,0%	1 100,0%	1 100,0%
Hésitations	5 50,0%	5 50,0%	10 100,0%
Total	5 50,0%	5 50,0%	10 100,0%

Tableau 69 : Résultats relatifs à la tâche « désinfection des mains »

En ce qui concerne la sixième tâche « enfilage de l'une et de l'autre sur-botte en franchissant le banc » nous observons qu'elle a été réalisée correctement par la totalité de l'échantillon (10 personnes sur 10, soit le 100 % de l'échantillon testé).

	LabQuest	Traditionnel	Total
Enfilage de l'une et l'autre sur- botte en franchissant le banc	5 50,0%	5 50,0%	10 100,0%
Oui	5 50,0%	5 50,0%	10 100,0%
Total	5 50,0%	5 50,0%	10 100,0%

Tableau 70 : Résultats relatifs à la tâche « enfilage de l'une et l'autre sur-botte en franchissant le banc »

Pour terminer sur la septième tâche « se désinfecter les mains » nous observons qu'elle a été réalisée correctement par la totalité de l'échantillon (10 personnes sur 10, soit 100 % de la population testée).

	LabQuest	Traditionnel	Total
Se désinfecter finale des mains Oui	5 50,0%	5 50,0%	10 100,0%
Total Totale	5 50,0%	5 50,0%	10 100,0%

Tableau 71 : Résultats relatifs à la tâche « désinfection finale des mains »

Nous présentons, ci-dessous, le tableau des notes qui ont été attribuées au test réalisé à la suite de la formation. Aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes avant suivi respectivement les formations avec LabQuest et celle traditionnelle.

Note	LabQuest	Traditionnel	Total
5,75	1	0	1
6,00	1	2	3
6,50	2	2	4
7,00	1	1	2
Note moyenne	6,35	6,4	/
Total sujets	5	5	10

Tableau 72 : Notes relatives à l'exécution de la procédure « enfilage des sur-bottes » en post-test

Les résultats de cette observation semblent rejeter l'hypothèse selon laquelle la variable « lapse de temps » pourrait avoir une incidence sur les performances post-test. Cependant, vu la petite taille de l'échantillon, cette hypothèse doit être exprimé avec une certaine prudence. Nous affirmons la nécessité d'approfondir encore d'avantage cette question.

7.2.7.4. Quels exercices proposer ? Analyse des exercices de simulation et proposition de solution

Comme nous l'avons longuement argumenté dans la discussion des résultats et nous l'avons montré en réalisant une observation supplémentaire, les deux exercices proposés au sein du SG (d'une part « nettoyage des surfaces » et, de l'autre, « substitution de la boîte de Pétri ») produisent deux résultats d'apprentissage hétérogènes. En ce qui concerne l'exercice de « nettoyage des surfaces », nous avons pu montrer que le groupe ayant été formé avec LabQuest avait mieux appris la manière dont cette procédure devait être exécutée. D'autre part, nous n'avons pas observé de différences significatives entre les groupes formé avec LabQuest et de façon traditionnelle, dans l'exercice plus « directif » de la « substitution de la boîte de Pétri ».

Aucune différence significative n'a pas été mise en évidence au cours de l'observation complémentaire que nous venons de décrire.

Pour comprendre ce phénomène, nous avons essayé, *a posteriori*, de définir les différences existantes entre les deux exercices et de trouver dans la littérature des éléments théoriques qui expliquent le succès ou l'insuccès de l'une et l'autre stratégie à des fins d'apprentissage.

Nettoyage des surfaces	Substitution de la boîte de Pétri
Description de l'exercice au sein du SG	
Dans l'environnement virtuel, la personne est invitée à suivre un parcours indiqué par des repères, des « <i>pins</i> ». Chaque <i>pin</i> explique de façon intuitive une règle que l'apprenant doit appliquer dans l'environnement. La personne a la possibilité d'appliquer la règle apprise, immédiatement après l'avoir reçue.	Dans l'environnement virtuel, la personne est guidée pas à pas dans la réalisation d'une procédure écrite. La procédure est proposée sous la forme d'une liste décrivant les étapes qui doivent être exécutées dans le SG. La personne est invitée à reproduire chaque étape dans l'environnement simulé.
Description des utilisateurs en train de manipuler	
La personne explore l'environnement comme il en a envie et, dès qu'un <i>pin</i> lui est proposé par le logiciel, elle clique dessus pour accéder au contenu. Après avoir fermé le <i>pin</i> , la personne soit applique la règle qui lui a été présentée dans le logiciel de façon synthétique et imagée, soit corrige ses actions réalisées au préalable si elle s'aperçoit avoir fait une erreur. Tout au long de son activité d'apprentissage de la procédure de nettoyage d'une surface, la personne est libre d'orienter son apprentissage et est actrice de celui-ci.	La personne est positionnée devant son écran et une procédure écrite lui est indiquée. On lui demande, à ce moment, de suivre pas à pas une procédure sans lui expliquer exactement les raisons de celle-ci. La personne est donc face à deux stimuli de façon alternée : d'une part la procédure écrite qui explique comment réaliser une substitution de la boîte de Pétri, de l'autre, la situation dans le SG qui exige l'application immédiate de la procédure.
Informations données	
L'information donnée se trouve sous la forme d'un petit paragraphe qui propose des exemples visuels.	Une liste d'informations énumérées est donnée à la personne.
L'information est transmise sous forme de discours.	L'information se présente sous la forme de liste et elle revêt un caractère instructif du type « mode d'emploi »
Réalisation de la procédure	
La procédure peut être réalisée une fois que la personne a clôturé le <i>pin</i> dans lequel se trouve la règle qui doit être appliquée.	La procédure est réalisée pas à pas pendant la lecture de l'instruction (lecture l'instruction 1 – application dans le SG – lecture de l'instruction 2 – application dans le SG <i>etc.</i>)

Tableau 73 : Mise en comparaison des deux exercices lors de la formation LabQuest - protocole expérimental

A ce point de la description des deux procédures, nous avons assez d'éléments pour pouvoir expliquer quelles peuvent être les raisons qui font qu'une méthode d'apprentissage « par instruction » (ou *programmée*), comme celle qui a été employée pour la boîte de Pétri, n'apporte pas de valeur ajoutée à l'apprentissage *via* le SG par rapport à un apprentissage traditionnel.

La fragmentation et le nombre des règles

L'une des premières observations qu'il est possible de faire concerne la nature de l'information. D'un côté, nous avons une règle qui est scénarisée à l'intérieur du SG à laquelle l'utilisateur accède de façon naturelle et spontanée, de l'autre, nous avons une procédure qui est imposée à un moment donné de l'exploration. De plus, nous trouvons d'un côté un discours homogène et articulé autour d'un concept, qui toutefois n'annonce pas à l'apprenant comment le problème doit être résolu et, de l'autre, nous avons une liste de tâches soigneusement décrites de façon à conduire l'action de l'apprenant. De plus, concernant le nombre d'informations, nous pouvons remarquer que celles qui sont données sont nettement supérieures pour l'exercice de changement de la boîte de Pétri, par rapport à celles dont dispose l'apprenant pour le nettoyage des surfaces. Dans le tableau ci-dessous, nous revenons sur la nature et sur les caractéristiques des exercices proposés dans le cas de l'observation principale, et plus spécifiquement au groupe qui a suivi la formation LabQuest.

	Nettoyage des surfaces	Boîte de Pétri
Naturalisation de la règle dans l'environnement	oui	non
Homogénéité du discours autour d'un principe	oui	non
Quantité relative d'informations	faible	importante
Utilisation de visuels	oui	non
Discours autour du « pourquoi »	oui	non
Discours autour du « comment »	non	oui

Tableau 74 : Synthèse de la nature des exercices dans la formation LabQuest – protocole expérimental

Pour mieux comprendre les raisons de ce phénomène, nous nous sommes penchés sur la littérature scientifique qui traite des apprentissages multimédia. Même si nous l'avons déjà abordée dans la partie théorique, l'observation d'un tel résultat nécessite un approfondissement, voire une réorientation de la problématique. En effet, il ne s'agit pas ici seulement de proposer des informations utiles à l'apprentissage qui soient cohérentes (les instructions données à l'utilisateur pour l'exercice de substitution le sont avec l'environnement d'apprentissage), mais de comprendre quelle forme doivent avoir les informations et comment les contenus doivent être structurés.

Comme nous l'avons déjà évoqué à plusieurs reprises, nous considérons avec Mayer (2014) les SGs comme des dispositifs d'apprentissage en fonction de trois perspectives : 1° l'apprentissage multimédia pour renforcer une réponse, 2° l'apprentissage multimédia pour acquérir des informations et 3° l'apprentissage multimédia pour la construction de savoir. Nous allons aborder ces concepts plus en détail.

1° Renforcer une réponse : ce type d'apprentissage permet à l'apprenant de développer des réponses en utilisant des stimuli déclenchant des *feedbacks* positifs ou négatifs qui installent un mécanisme de conditionnement permettant à la personne d'apprendre la bonne réponse. Dans ce type d'apprentissage, l'apprenant est passif. Son activité consiste simplement à donner une réponse cohérente à la question qui est programmée par le dispositif, sans fournir des informations supplémentaires qui interpellent la vraie acquisition de connaissances ou compétences.

2° Acquérir des informations : ce type d'apprentissage est de type transmissif et a comme objectif la simple acquisition d'informations. L'information passe de son détenteur (l'enseignant) à son destinataire (l'apprenant). Les informations peuvent être constituées selon des stratégies plus ou moins efficaces avec, comme résultat, une mémorisation éventuelle des informations dans la mémoire à long terme. Mais l'apprenant est ici toujours passif dans son processus d'apprentissage.

3° Construction de savoirs : ce type d'apprentissage, contrairement à la simple acquisition d'informations, présuppose une activité de l'apprenant qui est donc acteur et responsable de son apprentissage. L'apprenant est ainsi conduit à construire un sens en partant de son expérience multimédia et en réalisant une représentation mentale de celle-ci. Dans cette optique, le rôle de l'enseignant est de le guider dans son processus d'apprentissage. Sa mission est celle de stimuler l'apprentissage en le guidant, sans lui imposer du contenu de façon transmissive.

Dans le tableau 75 nous synthétisons les trois métaphores de l'apprentissage selon le modèle de Mayer (2014).

Métaphore	Définition	Contenu	Apprenant	Enseignant	Objectif de l'apprentissage
Renforcement de la réponse	Création de connexions plus ou moins faibles	Connexions	Récepteur passif	Distributeur de <i>feedbacks</i>	Système d'exercice
Acquisition d'informations	Rajout d'informations à la mémoire	Informations	Récepteur passif	Distributeur d'informations	Système de distribution
Construction de savoir	Construction d'une structure mentale cohérente	Connaissance	Acteurs et constructeur de sens	Guide cognitif	Conduite/ guide cognitif

Tableau 75 : *Les trois métaphores de l'apprentissage multimédia (Mayer, 2014)*

Si l'on adopte ce point de vue, nous pouvons affirmer qu'un exercice de type directif et transmissif, comme celui qui a été proposé pour la « substitution de la boîte de Pétri », n'est pas nécessairement inefficace en termes d'apprentissage, mais pourrait par contre, ne pas avoir un impact à terme sur le système de représentation de l'apprenant. En effet, l'exercice dans les deux situations (traditionnelle et avec le SG) proposait des instructions qui devaient être reproduites à l'identique. C'est-à-dire que, dans ce cas spécifique, l'exercice avec le SG n'a pas exploité des mécanismes d'apprentissage d'acquisition de sens qui auraient pu avoir comme résultat une meilleure efficacité dans le développement des compétences. De ce fait, aucune valeur ajoutée n'a été apportée dans le SG. Par conséquent, l'apprentissage dans l'un et l'autre groupe n'a pas montré de supériorité dans l'un par rapport à l'autre en matière de développement de compétences.

Les tableaux 76 et 77 ci-dessous résument respectivement les résultats des données concernant l'observation principale et secondaire.

Observation principale	
Développement des compétences professionnelles - test pre*post	
Global	ANOVA à mesures répétées, ($F_{(1,39)} = 8,190$; $p < .01$ et $\eta^2 = 0,174$) : la variable « formation (LQ;Trad) » a eu un impact de causalité sur les résultats obtenus en phase de post-test. A la suite de l'utilisation de LabQuest, les sujets de l'échantillon réalisent de meilleures performances et les compétences professionnelles sont mieux transférées dans le cadre de la formation effectuée via SG.
Nettoyage des surfaces	- Test t de <i>student</i> (LQ m = 3,4 ; TRAD m = 3,32 ; t = 0,7 ; $p < .05$) : on observe, en post test que la moyenne des résultats est supérieure pour les sujets ayant effectué le protocole LabQuest (LQ m = 6,13 ; TRAD m = 3,32). - ANOVA à mesures répétées ($F_{(1,43)} = 14,098$; $p < .001$ et $\eta^2 = 0,247$) : la variable « formation (LQ;Trad) » a effectivement eu un impact sur les résultats obtenus en phase de post-test en ce qui concerne la procédure de nettoyage d'une surface. A la suite de l'utilisation de LabQuest, les personnes réalisent de meilleures performances.
Boîte de Pétri	- Test t de <i>student</i> (pré-test LQ m = 6,9 ; TRAD m = 6,6 t = 0,4 n.s. ; post-test LQ m = 10,87 ; TRAD m = 10,2 t = 1,07 n.s.) Au post-test nous n'observons pas non plus de différences importantes. - ANOVA ($F_{(1, 43)} = 0,26$; ns) : la variable « formation » n'a aucun impact sur les performances post-test dans les deux groupes. → Ce deuxième exercice exige une observation complémentaire
Développement du sens critique – visualisation de la vidéo de tierces personnes	
89,3 % des sujets du groupe SG ont identifié toutes les erreurs et tous les comportements non-conformes, contre 52,2 % des sujets du groupe traditionnel. - Aucune différence significative peut être observée en ce qui concerne les erreurs « non pertinentes » : 45,6 % sujets ayant effectué le protocole LabQuest, contre 44 % des sujets ayant effectué le protocole Traditionnel.	

Tableau 76 : Récapitulatif des résultats pour le protocole principal

Observation secondaire
Développement des compétences professionnelles – enfilage des sur-bottes, procédure pas à pas
Aucune différence de performance n'a été observée entre les deux groupes après la réalisation des formations LabQuest et traditionnelle.

Tableau 77 : Récapitulatif des résultats pour le protocole secondaire

7.3. Discussion des résultats

Plusieurs observations et réflexions peuvent être faites à l'issue de l'analyse de ces résultats. Si nous pouvons mettre en discussion la confirmation des hypothèses qui ont été énoncées dans le chapitre 5, nous souhaitons cependant aussi révéler quelques nouvelles pistes de recherche susceptibles de donner lieu à des approfondissements ultérieurs.

D'une manière générale, nous pouvons affirmer que la formation avec LabQuest a été perçue, par les sujets, comme étant plus ludique et intéressante que la formation traditionnelle.

Nous nous appuyons sur les commentaires réalisés par les apprenants durant et après la formation pour légitimer cette proposition. Comme les résultats le montrent, les sujets ayant été formés de façon traditionnelle ont déclaré de ne pas être satisfaits de cette formation car jugée « trop longue », alors que la moyenne de réalisation du test s'étendait sur 20 à 25 minutes pour la formation traditionnelle par rapport à 55 à 60 minutes pour la formation LabQuest. Ces données n'ont pas été présentées de façon précise dans l'analyse des résultats, car les mesures entreprises ne nous ont pas parues suffisamment précises n'étant pas l'objectif du test. Un signe très positif d'appréciation de la formation cependant a été identifié grâce à l'observation du phénomène de très forte intensité identificatoire avec l'avatar, surtout en présence des miroirs et lors de heurts (bien que virtuels) de l'avatar avec les objets de l'environnement.

Suite à la présentation globale des appréciations recueillies à propos des formations que nous venons de réaliser, nous souhaitons maintenant aborder une discussion plus détaillée des hypothèses.

En ce qui concerne la première hypothèse, elle prévoyait que : « *La conception d'un outil d'évaluation et de formation sous forme de SG, dirigée par les choix et la déclinaison optimale des trois types d'artefacts (didactique, pédagogique, technique), ne présente pas de conflit instrumental, mais ajoute en revanche une valeur pédagogique à l'outil qui n'est pas atteignable avec les méthodes traditionnelles d'évaluation* ». Nous pouvons affirmer que cette hypothèse a été implicitement vérifiée lors des résultats du *beta-test* 2 (réalisé avec les utilisateurs primaires, c'est-à-dire les opérateurs des entreprises pharmaceutiques) au moment où les actions réalisées semblaient être pertinentes et répondre à leurs attentes. Nous avons fait la même observation lors du protocole expérimental suite, non seulement aux appréciations que les participants aux tests ont verbalisées sur le logiciel, mais aussi par rapport aux résultats obtenus aux post-tests.

Cette première hypothèse est complétée par l'affirmation 1b, selon laquelle : « *Dans le cadre de l'acquisition des compétences, nous affirmons que l'apprentissage des procédures fait par le biais d'un SG offre une valeur pédagogique qui n'est pas atteignable avec les méthodes traditionnelles de formation. En d'autres termes, les personnes formées avec LabQuest réalisent de meilleures performances, dans la vie réelle, que les personnes qui ont été formées avec des méthodes traditionnelles (vidéo, QCM, PPT)* ». Nous avons déjà déclaré, lors de la présentation des hypothèses, l'impossibilité de mesurer l'acquisition et/ou le développement des compétences et notre choix conséquent d'observer l'évolution des performances. A ce propos, nous pouvons dire que cette deuxième partie de l'hypothèse semble être complètement confirmée par l'analyse qualitative qui a été réalisée autour d'un protocole expérimental. Comme nous l'avons déjà présenté, le test d'ANOVA à mesures répétées montre une performance significativement supérieure et en faveur du groupe qui a été formé avec LabQuest.

Néanmoins, aucune différence de performance entre les deux groupes n'a été observée au post-test pour l'exercice du changement de la boîte de Pétri, ce qui pourrait nous faire affirmer que, pour cet exercice réalisé pas à pas, aucune valeur ajoutée en terme d'apprentissage n'est obtenue par l'une ou l'autre formation. Pour en comprendre les raisons, mais surtout afin d'exclure la présence d'un biais au sein du protocole, nous avons réalisé une observation supplémentaire dans laquelle tout biais de temps avait été contrôlé et nous avons retrouvé des résultats similaires à ceux obtenus lors de l'observation principale. A la suite de l'observation de ce phénomène, nous avons confirmé, en nous appuyant sur la littérature existante, l'inefficacité de l'utilisation d'un apprentissage par instruction, (ou enseignement programmé), lors d'une situation de simulation. En accord avec les théories de l'apprentissage multimédia, nous avons contribué à souligner l'importance de concevoir des apprentissages simulés dans lesquels la quantité d'information n'est pas élevée, mais aussi qu'un apprentissage efficace devrait préférer une scénarisation des contenus qui explique le « pourquoi » d'une norme plutôt que le « comment ».

Un autre phénomène important a été mis en évidence : le rôle des erreurs au sein d'un dispositif de simulation. Si, d'une part, nous avons eu tendance à penser que « ce qui est réalisé à l'intérieur d'un SG est ensuite plus facilement reproduit dans la vie réelle », nous avons, par ailleurs, pu observer comment la production d'une erreur au sein du SG, suivie par la reconnaissance de cette erreur et sa correction, pouvait avoir un impact considérable sur la performance post-test et par conséquent sur l'apprentissage. Nous nous sommes, par ailleurs, aperçus que les personnes qui prenaient conscience d'avoir commis une erreur étaient celles qui réalisaient le moins d'erreurs dans la procédure au post-test.

Nous avons également observé que, ayant suivi la formation LabQuest, les personnes avaient consulté plus d'informations (POI) que celles qui leur avaient été prescrites dans la mission. De plus, en phase de post-test, elles ont démontré avoir appris plus de connaissances que celles qui leur avaient été demandées (s'agissant, par exemple, des principes d'habillage et de la procédure de lavage des mains). Ces connaissances ont d'ailleurs été appliquées de façon pertinente et correcte au post-test. Cette donnée montre, que les sujets formés avec le SG sont bien plus motivés à l'apprentissage et souligne l'efficacité de l'acquisition de ces informations dans le transfert des compétences sur le terrain.

Pendant la formation avec LabQuest, des phénomènes de l'ordre de la verbalisation ont été observés. Dans un premier temps, nous avons confondu ceux-ci avec des stratégies de verbalisation visant la résolution de problèmes. Une analyse exploratoire puis un codage sémantique de ces verbalisations nous ont fait identifier cinq catégories différentes de verbalisations : 1° Résolution des problèmes à voix haute ; 2° Emotions primaires ; 3°

Communication indirecte ; 4° Questions directes ; et 5° Lecture à voix haute des textes. Aussi, avons-nous cherché à comprendre si les comportements verbaux qui ont été observés chez les apprenants étaient en corrélation les uns par rapport les autres. Cette hypothèse a été confirmée grâce à l'application du test de corrélation de Pearson au recueil des données. Nous ne pouvons cependant pas en tirer des conclusions définitives pour deux raisons : d'une part, la catégorisation des verbalisations mérite d'être retravaillée et d'être reconsidérée vis-à-vis d'un modèle théorique de référence portant sur la communication verbale au sein de dispositifs de simulation et interactifs ; d'autre part, cette étude devrait pouvoir prendre en considération d'autres cas similaires (par exemple, dans le cadre d'autres SGs) pour étudier comment ces phénomènes de verbalisation et communicatifs se reproduisent dans d'autres contextes.

L'efficacité du logiciel pour le transfert de compétences dans la vie réelle peut-elle être attribuée à l'ingénierie pédagogique (*instructional design*) qui a été déployée pour la conception du SG ? Cette question pourrait être élucidée qu'avec l'application du même modèle de conception (PEGADE) à d'autres produits de type SG. Nous verrons dans le chapitre à venir, lors de l'étude de l'exploration de l'apprentissage, comment s'effectue l'appropriation des artefacts qui composent la situation l'apprentissage. Ce processus sera analysé en prenant en considération la théorie de la genèse instrumentale de Rabardel (1995) et celle du conflit instrumental de Marquet (2011). Cette dernière servira, plus précisément, à confirmer les arguments que nous avons énoncés dans cette thèse pour justifier l'évolution de cette dernière par le concept d'adaptation instrumentale. Toutefois, dans cette première partie de discussion des données, nous pourrions affirmer que l'efficacité prouvée dans le développement et la transposition des compétences *via* le SG est intrinsèquement liée à la pertinence du modèle de conception du SG qui est à son origine.

Afin de tester l'efficacité du modèle de conception PEGADE, nous avons dressé un protocole de test basé sur une méthode qualitative qui permet de décrire le cycle d'appropriation des artefacts et d'identifier la présence de l'instrumentalisation des artefacts qui amènerait à un apprentissage efficace. Nous présenterons ce protocole ainsi que l'analyse des résultats dans le chapitre 8.

8. LabQuest vis-à-vis du modèle de l'adaptation instrumentale

Ce chapitre sera entièrement dédié à l'exploration du phénomène d'appropriation des artefacts pendant le processus d'exploration d'un dispositif de formation de type SG. Comme nous l'avons longuement développé dans notre partie théorique, les enjeux industriels et les enjeux scientifiques de cette thèse se retrouvent imbriqués et interconnectés l'un au service de l'autre. En effet, la conception et le déploiement de ce SG nous a permis, dans un second temps, de conduire des observations sur l'appropriation des artefacts dans le processus d'apprentissage.

8.1. Protocole d'observation et collecte de données

8.1.1. Les enjeux du protocole – rappel des hypothèses

Comment s'est opérée l'acquisition des compétences dans le cadre de l'utilisation du SG ? Comment les artefacts techniques, pédagogiques et didactiques doivent-ils s'articuler entre-eux afin de constituer un outil d'apprentissage qui réponde de façon efficace aux besoins de la formation ? Est-il possible de tracer un parcours d'apprentissage lors de l'utilisation d'un e-learning (dans le cas spécifique d'un SG) ?

Le protocole d'observation et d'analyse des résultats que nous allons proposer ici vise la compréhension du processus d'appropriation des artefacts qui sont intégrés dans le processus d'apprentissage utilisant par la technologie informatique. Dans la partie théorique (*cf.* chapitre 4) nous avons détaillé les apprentissages « traditionnels » qui ne font pas appel aux technologiques numériques, et indiqué que le même processus d'apprentissage impliquait les trois artefacts (donc l'artefact technique, contrairement à l'affirmation de Marquet dans sa théorie du conflit instrumental), avec la différence que, si dans un apprentissage traditionnel, nous pouvons utiliser des artefacts plus transparents (le livre, le crayon) dans le cadre d'un enseignement numérique, nous nous trouvons face à des artefacts opaques (le logiciel, le clavier – souris) que nous dénommons en tant qu'« artefacts médiatiques ».

L'observation principale et l'analyse des données ont été conçues présentement dans la perspective de mettre à l'épreuve les trois hypothèses que nous avons formulées dans le chapitre 5 :

2a) Tout apprentissage, médié ou non par les technologies informatiques, nécessite, pour être efficace, une adaptation optimale des trois artefacts (technique, pédagogique et didactique) qui composent le système d'apprentissage.

2b) L'acquisition des artefacts dans un système d'apprentissage-type, se fait de façon hiérarchisée et spiralaire, comme nous l'avons présenté dans le modèle de l'adaptation instrumentale. Le sujet doit, dans un premier temps, se rendre assez autonome dans la maîtrise de l'artefact technique (dans le cas spécifique du SG, des commandes et des interactions avec les objets et l'environnement), pour accéder ensuite à l'artefact pédagogique, c'est-à-dire le formalisme de représentation d'une norme ou d'une règle, et enfin à l'artefact didactique (le but de l'apprentissage).

2c) L'acquisition des artefacts au sein d'un processus d'apprentissage ne se fait pas une fois par toute mais suit, au contraire, un processus d'adaptation progressive. Le sujet, afin de réussir son apprentissage, doit pouvoir maîtriser les trois artefacts présents à l'intérieur du système. Un déséquilibre entre les trois artefacts peut avoir comme conséquence un conflit instrumental et donc un échec de l'apprentissage lui-même.

8.1.2. Déroulement du protocole et méthode d'enregistrement des données

Parmi les 45 personnes ayant participé aux tests (*cf.* protocole expérimental, chapitre 7), 23 ont effectué une formation exclusivement basée sur une exploration du SG LabQuest. Au cours de l'exploration, les sujets pouvaient échanger librement avec le chercheur, faire des commentaires, poser des questions.

Nous rappelons que pendant l'exploration du SG, la personne était censée accomplir deux missions en appliquant les contenus pédagogiques présentés lors de l'exploration.

Rappelons-nous également que pendant l'exploration de l'environnement virtuel d'apprentissage, l'activité de l'utilisateur avait été enregistrée par un système de capture d'écran capable d'enregistrer l'audio en simultané. Cette disposition nous a permis d'extraire des informations synchronisées par rapport aux réactions/interventions des apprenants et les actions effectuées dans le SG. Parmi les 23 sujets dont l'activité réalisée dans le SG a été enregistrée, nous avons uniquement réussi à enregistrer l'écran de 22 d'entre-eux (sur 23). En effet, durant le déroulement du test n° 8, nous avons été confrontés à un problème technique qui nous a empêché de poursuivre l'enregistrement jusqu'à son terme.

Nous avons ensuite procédé à la retranscription des toutes les expériences réalisées par les sujets ayant participé au test. Un tableau à deux colonnes nous a servi à la mise par écrit du déroulé de chaque exploration : dans la colonne de gauche, nous avons listé toutes les actions effectuées par le sujet (en commençant par le tutoriel et en poursuivant avec l'exploration libre des contenus pédagogiques ainsi que la mise en pratique de ces derniers pour l'accomplissement des missions) et, dans la colonne de droite, nous avons retranscrit les actions et les commentaires des sujets. Puis, nous avons réalisé l'exploration et le codage des données.

8.1.3. Codage des données

Le codage des interventions verbales au sein de l'exploration a été réalisé en plusieurs étapes :

Etape 1 – Prise de parole : dans cette première étape du codage, nous avons mis en évidence quatre types d'interactions possibles qui se sont vérifiés, non seulement lors de l'exploration du SG mais aussi dans la partie de débriefing qui s'est tenue après le test. Comme nous pouvons l'observer dans le tableau 78, toutes les activités de l'apprenant, ainsi que ses interactions, interventions tout au long de l'exploration, ont été codifiées à l'aide de codes de différentes couleurs. Cela a été fait pour l'ensemble de l'échantillon.

	Les interventions du chercheur
	Les commentaires/interventions du sujet
	Les interprétations/commentaires du chercheur pendant l'exploration des données
	Les explications du sujet émises par rapport à ses actions données en phase de post-test

Tableau 78 : Légende des interventions codées

Etape 2 – Activités réalisées par les apprenants pendant l'exploration : elles ont été classées en artefacts technique, pédagogique et didactique, selon leur apparition dans le SG. Pour pouvoir distinguer ces trois artefacts, nous avons dû clarifier ce que l'on entendait pour chacun d'entre-eux au sein du SG. Cette catégorisation a été réalisée en accord avec la théorie du conflit instrumental (Marquet, 2011). En effet, nous entendons par:

- artefact technique tous les éléments du SG qui rendent possible une action de l'utilisateur sur l'environnement. Parmi ceux-ci figurent le tutoriel, qui permet de développer les compétences destinées à pouvoir se déplacer et à interagir avec les objets. Ce tutoriel est à son tour composé d'éléments plus basiques représentés par la réalisation d'action spécifiques (appuyer sur les flèches pour avancer, glisser et déposer pour déplacer un objet *etc.*) qui doivent être appliqués afin d'avoir d'une certaine aisance dans l'exploration de l'environnement ;
- artefact pédagogique tous les éléments qui permettent de créer un scénario qui rend possible l'accès à la narration nécessaire à l'apprentissage. Dans le cadre de LabQuest, le scénario est composé de pièces qui constituent l'entreprise virtuelle, ainsi que de contenus pédagogiques sous la forme de POI (texte et image) ;
- artefact didactique toutes les règles et contenus de formation qui ont été scénarisés de façon à ce que la personne les apprenne pendant son exploration de l'environnement.

Si nous prenons en considération l'exemple proposé dans le tableau 80, nous pouvons parcourir le cheminement de la personne à travers les processus d'acquisition ou de non-acquisition des artefacts dans le SG. Comme nous l'avons déjà exprimé, les éléments du tutoriel,

de 1 à 4, montrent bien comment la personne, confrontée à un nouveau dispositif de formation, doit apprendre à en utiliser les fonctions. Dans les exemples 4 et 5, nous nous trouvons face à un contenu pédagogique scénarisé par la présence d'un POI positionné sur un élément de l'environnement (artefacts pédagogique), qui veut conduire l'apprenant à accéder à la loi, la norme sous-jacente (artefact didactique) afin d'achever l'objectif d'apprentissage. Pour chaque type d'artefact, il est précisé s'il a été acquis par le sujet ou si des problèmes d'acquisition ont été décelées. Dans ce deuxième, cas nous parlerons de conflit d'acquisition, autrement dit, de conflit instrumental. La même analyse a été faite pour l'ensemble de l'échantillon.

Le tableau 79 ci-dessous montre comment les artefacts ont été codés dans la retranscription. Dans le tableau de retranscription et d'analyse de même que dans son prolongement nous retrouvons cette codification dans la troisième colonne.

AT	Artefact Technique
AP	Artefact Pédagogique
AD	Artefact Didactique

Tableau 79 : Codification des artefacts

Nous donnons ci-dessous un extrait du tableau récapitulatif des analyses et des codages relatifs à l'un des sujets ayant participé au test (la version intégrale se trouve dans les annexes).

Avancement dans l'exploration – tutoriel / contenus pédagogiques / mission	Actions effectuées interactions prise de parole	Parcours des artefacts pendant l'exploration
1_« Ceci est une pièce d'entraînement »	- Elle essaye de cliquer partout sur l'écran pour pouvoir interagir avec les objets. - Puis elle comprend qu'elle doit cliquer sur « play » pour continuer le tutoriel.	AT - non acquis AT - acquis
2_« Glissez votre souris vers le bord de l'écran pour regarder vers la gauche ou vers la droite »	- Elle pointe le curseur tout à droite et elle fait un tour de 360°. - Puis elle essaye de continuer l'exploration en cliquant au milieu de la pièce d'entraînement. Elle essaye de cliquer sur les flèches vertes présentes sur l'écran. <i>Je lui dis alors qu'elle doit aussi regarder de l'autre côté pour pouvoir avancer dans le tutoriel.</i> - Elle positionne le curseur sur la partie gauche et elle fait encore une nouvelle fois un tour de 360°. <i>Dans l'entretien post-test, elle nous dira qu'elle s'attendait à ce qu'à un moment donné l'écran vert disparaisse.</i>	AT - acquis AT- non acquis elle ne suit pas la consigne du tutoriel AT acquis
3_« Glissez votre souris vers le bord de l'écran pour regarder en haut et en bas »	- Même si elle vient de faire la même chose pour l'écran précédent, elle fait la même erreur de cliquer sur la flèche et non pas dans les zones vertes en haut et en bas. <i>Il suffit que je lui dise « tu te souviens ? » et elle fait l'action correctement elle dit « ah, ok » et moi « et puis tu peux regarder vers le bas ». Elle le fait.</i> - Une fois cette étape réalisée, elle ne comprend pas que le « play » clignotant, en bas à droite de la bande du tutoriel, sert à passer à la phase suivante (<i>elle n'ose pas cliquer mais elle semble réfléchir</i>). Après quelques hésitations elle comprend quand même.	AT- non acquis rappel de la bonne action rapide AT acquis

		AT acquis
4_« Maintenez la touche flèche du « haut » appuyée pour marcher »	• Elle avance, et elle va à droite et à gauche, de façon correcte. • « Ah génial, je suis là » elle se regarde dans le miroir. • Elle demande « et pourquoi ils sont jaunes ? » elle fait référence aux objets présents dans la pièce. Je réponds « tu le verras par la suite ». • Elle n'a toujours pas avancé dans le tutoriel et elle se promène dans la pièce, je soupçonne qu'elle ne se rappelle plus qu'elle doit cliquer sur « play » pour passer à la phase d'après, donc je lui rappelle cela. • Je lui rappelle comment regarder droite et gauche et puis je lui demande d'avancer dans le tutoriel.	AT acquis → naturalisation de l'exploration AP
[...]		
5_Visuel dans la pièce NC. Lavabo-PIN	• Elle clique sur le <i>pin</i> (contenu pédagogique) et elle prend le temps pour le lire. • Elle clique sur le lavabo • Elle clique sur le savon • Elle clique encore sur le lavabo • Elle me demande « pourquoi ils s'activent les deux même si je clique un seul » je lui explique « une fois c'est le nettoyage, l'autre c'est pour la désinfection » • Elle clique sur le distributeur pour prendre les serviettes	AT acquis AP acquis Application @→ AD acquis AD acquis AD acquis Question AP AD acquis
6.Armoire des habits d'usine Le fait d'essayer de cliquer sur un objet jaune (sans s'en approcher) pourrait signifier que la personne ne s'est pas complètement appropriée de l'artefact technique.	• Elle essaye d'abord de cliquer sur les objets entourés en jaune. Puis elle s'approche des objets car elle se souvient qu'il faut se rapprocher. • Elle clique sur le POI « règle d'habillage haut-bas » je lui fais remarquer que si veut, elle peut cliquer sur l'image pour l'agrandir. • Elle dit « mmmhh... je connaissais pas ça »	AT non acquis → rappel de l'AT AP acquis AD acquis
Ici, il y a un passage évident entre le scénario (artefact pédagogique) et l'accès à la norme (artefact didactique).		
[...]		

Tableau 80 : Transcription et codage d'une exploration des artefacts lors de la formation LabQuest

Etape 3 – Reconstitution du parcours d'exploration. Après avoir codé la retranscription, en catégorisant la nature des interventions et les artefacts résultant de l'exploration, nous avons essayé de construire le cheminement que l'utilisateur a réalisé vis-à-vis des artefacts, en le rendant explicite et visible grâce à une visualisation graphique du processus. Dans ce but, nous avons listés tous les artefacts (techniques, pédagogiques et didactiques) présents dans le

scénario que nous avons choisi pour le protocole de test et nous les avons organisés dans un ordre chronologique d'exploration, tout en les catégorisant, à leur tour, entre les trois grandes catégories (technique, pédagogique, didactique). Chaque action de l'apprenant est connectée à la suivante selon son cheminement réel. Cette analyse des actions a été réalisée à l'identique pour l'ensemble de l'échantillon.

Dans la figure 60, nous listons les artefacts techniques, pédagogiques et didactiques qui sont rencontrés par l'apprenant durant l'exploration du SG. Dans la partie extérieure de la figure, les phénomènes « hors processus » symbolisent la non-acquisition d'artefacts qui peut se vérifier pendant la formation. Lors de ces non-acquisitions d'artefacts, les apprenants ressentent une difficulté qui peut se vérifier sur trois niveaux :

- difficulté technique (difficulté dans la manipulation de l'interface, oubli d'une fonctionnalité, difficulté d'accès aux contenu) ;
- difficulté pédagogique (la personne néglige l'accès au contenu, soit parce qu'elle l'oublie, soit qu'elle n'en comprend pas le sens, ou encore qu'elle ne lit pas entièrement le contenu) ;
- difficulté didactique (même en ayant accédé au contenu pédagogique, la personne ne comprend pas l'utilité d'appliquer la règle).

Lorsqu'elles sont plus nombreuses que les acquisitions, ces non-acquisitions peuvent conduire à un échec de l'apprentissage, donc à un conflit instrumental qui peut par conséquent avoir un impact sur la qualité de l'apprentissage.

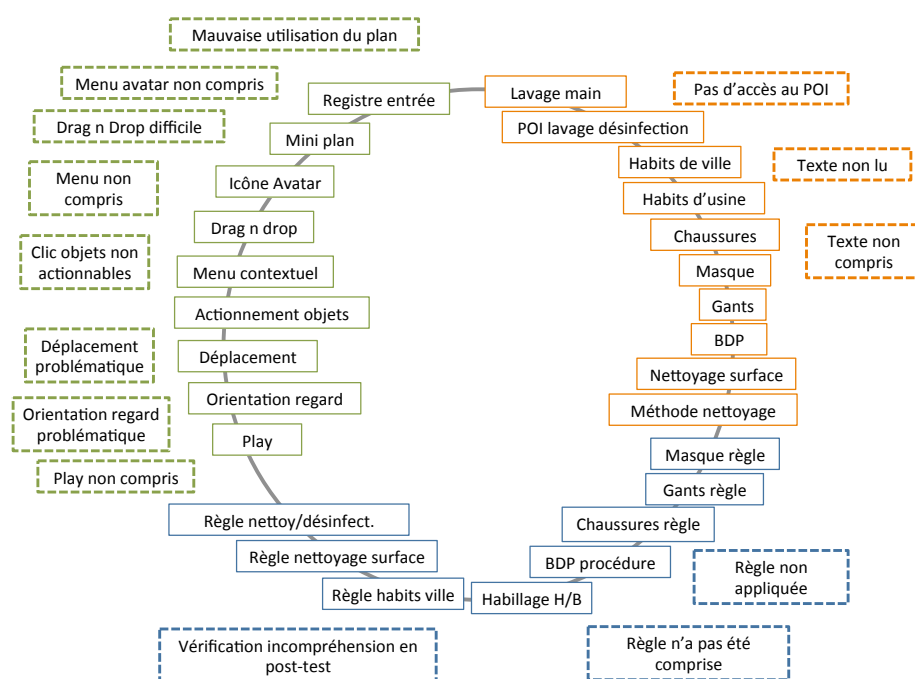


Figure 60 : Cycle d'exploration des artefacts

Dans la figure 61, nous traçons le cheminement effectif de l'apprenant lors de l'exploration du SG. Dans le cheminement, tout élément « *in_process* » et « *out_process* » sont tracés. Le processus d'acquisition ou de non-acquisition des artefacts tout au long de l'apprentissage, explicité dans l'analyse qualitative des interventions du sujet et codé selon la grille présentée sur le tableau 79. Nous proposons ici un exemple extrait de notre test 1 (cf. figure 61). Cette image intègre la trace du processus en partant de l'acquisition des artefacts techniques dans la phase de tutoriel (ligne bleue) et en poursuivant avec l'exploration pure se déroulant à l'issue du tutoriel (ligne rouge).

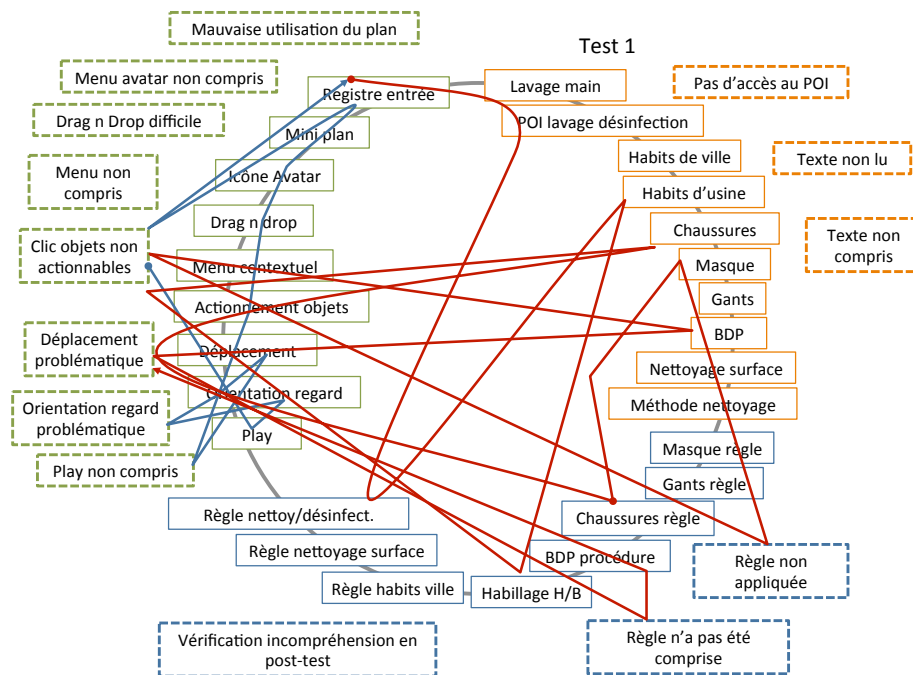


Figure 61: Cycle d'exploration des artefacts avec cheminement de l'utilisateur

Lors de l'analyse du processus d'appropriation des artefacts présents dans un dispositif d'apprentissage, nous avons toujours une phase de prise en main ou de découverte de l'outil ou du dispositif, sans différence entre apprentissages traditionnels et médiatisés par les technologies numériques. Dans les apprentissages traditionnels (par exemple l'apprentissage de l'écriture), cette acquisition se fait de façon transparente et elle n'est donc pas prise en considération au préalable. Lorsque nous sommes en face d'apprentissages médiés par l'ordinateur, nous retrouvons toujours cette première étape. Par ailleurs il est aussi fréquent que, lorsqu'on s'apprête à utiliser un logiciel, nous devons en découvrir les fonctionnalités car il peut avoir que des modalités d'interaction très différentes et les uns des autres. Dans les apprentissages « traditionnels », sans technologies numériques nous avons rarement le même souci. En effet, lorsque nous apprenons un nouveau théorème en géométrie, nous utilisons des règles, des chiffres, des compas, etc. qui sont les mêmes outils que nous sommes aussi appelés à utiliser en l'algèbre ou dans le dessin technique car ces technologies, plus anciennes et instrumentalisées-

instrumentées, ont été profondément intégrées par ces différentes disciplines. Alors que dans les apprentissages médiés par ordinateur, dans tous les cas, une partie essentielle de l'apprentissage, ne se développe qu'une fois que les artefacts techniques, rendant possible l'apprentissage, ont été acquis. Si cette phase de tutoriel est absente, l'apprentissage même de la matière pourra pas s'effectuer. Il est alors très commun que l'apprenant soit conduit à abandonner sa formation avant son accomplissement.

Dans l'analyse des résultats qui suit, nous allons traiter les deux processus. L'acquisition de tous les artefacts (y compris les artefacts techniques lors du tutoriel) (cf. figure 61), mais aussi le processus d'acquisition qui se situe au « cœur » de l'apprentissage. Si le fait de tracer tout l'apprentissage (qui inclut le tutoriel) est intéressant afin d'avoir une représentation du processus et de son déroulement lors d'un apprentissage médiatisé, l'étude du seul processus interne d'acquisition, après avoir acquis la maîtrise de l'interface du logiciel, est nécessaire pour comprendre la présence de conflits instrumentaux. C'est pour cette raison que nous avons prévu une phase supplémentaire de codage (étape quatre), que nous allons maintenant développer.

Etape 4 – *Process Network Analysis*. Il est évident que la représentation graphique du cheminement réalisé par l'apprenant pendant son processus d'apprentissage dans le SG donne un aperçu du poids des connexions internes à l'exploration, sans cependant fournir une mesure de la quantité de phénomènes d'acquisition ou de conflit. Aussi avons-nous voulu adopter une méthodologie nouvelle de *Social Network Analysis* (SNA)⁴⁸ qui puisse donner de façon plus précise un instantané du poids et du nombre de conflits instrumentaux qui se profilent lors de l'exploration du SG, dans le but, entre-autres, de comprendre quels éléments du SG sont d'acquisition moins facile. Nous avons renommé cette stratégie *Process Network Analysis* (PNA) car, au contraire de la SNA, elle ne décrit pas les liens sociaux entre les individus, mais plutôt une chronologie d'action, un processus dans ce cas spécifique d'apprentissage qui est observée lors de l'exploration de l'environnement d'apprentissage de la part de chaque sujet. Dans cet objectif, nous avons réalisé un recodage des éléments de l'exploration à partir de 6 catégories expérimentales (trois types d'artefacts et leurs conflits corrélés) :

Acquisition de l'artefact technique	non acquisition de l'artefact technique
Acquisition de l'artefact pédagogique	non acquisition de l'artefact pédagogique
Acquisition de l'artefact didactique	non acquisition de l'artefact didactique

⁴⁸ *Social Network Analysis* (SNA) : en traduction française « analyse des réseaux sociaux » est une approche sociologique fondée sur l'étude de la théorie des réseaux appliquée aux réseaux sociaux. Cette théorie des réseaux sociaux conçoit les relations sociales en termes de nœuds et liens. Les nœuds sont habituellement les acteurs sociaux dans le réseau mais ils peuvent aussi représenter des institutions, et les liens sont les relations entre ces nœuds. (Grandjean, M. « La connaissance est un réseau », Les Cahiers du Numérique, vol. 10, no 3, 2014, p. 37-54).

Pour faciliter ce codage, le scénario a été divisé en différentes petites scénettes⁴⁹ se focalisant chacune sur l'objectif pédagogique visé. Cette procédure a permis de confronter la façon dont chaque scène avait été explorée et d'identifier le parcours que l'apprenant avait réalisé pour atteindre l'objectif pédagogique. Nous en donnons ici deux exemples illustratifs :

Exemple a :

Objectif pédagogique :	Apprendre les règles et la procédure de lavage et désinfection des mains
Scénario :	La personne, au sein du SG, est guidée par l'environnement virtuel à la découverte des objets. Parmi eux, un lavabo, des serviettes en papier et des gels désinfectants sont présents. Ces objets, réellement présents dans l'environnement de travail, suggèrent les comportements que les personnes doivent adopter. Des contenus d'apprentissage sont également intégrés dans l'environnement, sous la forme de repères.
Interaction technique :	Les interactions avec les éléments de l'environnement se font directement à travers un clic sur les objets.

Exemple b :

Objectif pédagogique :	Apprendre les règles et la procédure d'habillage
Scénario :	La personne, au sein du SG, est guidée par l'environnement virtuel à la découverte des objets. Parmi eux, l'armoire à vêtements de ville, l'armoire à vêtements de travail et l'armoire à chaussures sont présentes. Ces objets, réellement présents dans l'environnement de travail, suggèrent les comportements que les personnes doivent adopter. Des contenus d'apprentissage sont également intégrés dans l'environnement, sous la forme de repères.
Interaction technique :	Les interactions avec les éléments de l'environnement se font directement à travers un clic sur les objets.

Dans cette partie du codage des données, l'acquisition du logiciel (tutoriel ou didacticiel) n'a pas été prise en considération. En effet, cette étape de l'apprentissage très directive de la part du logiciel, est conçue pour permettre la prise en main du dispositif et elle permet à l'apprenant de commettre des erreurs. Cette phase du tutoriel, se révèle en effet indispensable pour n'importe quel nouvel outil d'apprentissage et notamment pour les dispositifs d'apprentissages médiés par les ordinateurs.

⁴⁹ Scénette ou saynète : c'est un terme qui fait référence à une petite scène. Le terme vient originellement du théâtre espagnol et désigne une petite scène de la comédie bouffonne. Aujourd'hui ce terme peut être utilisé dans la scénarisation d'un *storyboard*.

8.1.4. Gephi⁵⁰ et la *Process Network Analysis*⁵¹

Pour étudier le processus d'appropriation des artefacts et la genèse instrumentale de ces derniers qu'impose un apprentissage efficace au sein d'un dispositif, nous avons utilisé, de façon intentionnellement détournée, la *Social Network Analysis*, avec comme objectif de donner une représentation graphique des connexions présentes entre les éléments faisant partie d'un système complexe. Comme nous l'avons déjà expliqué plus haut, l'objectif de l'utilisation de cette méthode qualitative pour notre étude réside dans le fait à fournir une trace graphique du processus d'apprentissage.

Nous avons procédé à l'analyse des comportements mis en œuvre par les apprenants durant l'exploration du SG. Pour chaque apprenant, nous avons réalisé un codage du nombre de liaisons entre les artefacts acquis et non-acquis dans un tableau. Voici à titre d'exemple le codage réalisé pour le test 1 :

	AT+ ⁵²	AP+	AD+	AT- ⁵³	AP-	AD-
AT+	0	10	0	0	2	1
AP+	1	0	10	10	1	0
AD+	3	0	0	0	1	0
AT-	10	0	0	0	1	0
AP-	0	5	0	0	0	0
AD-	0	0	1	1	0	0

Tableau 81 : Codage du nombre de connexions observées dans l'exploration du SG réalisée par le test 1

Dans un second temps, nous avons importé le tableau en format .csv⁵⁴ dans le logiciel *Gephi*. Après avoir rempli et paramétré les éléments du graphique, nous en avons exporté l'image.

⁵⁰ *Gephi* est le premier logiciel de visualisation et d'exploration, open source et gratuit, pour toutes sortes de graphiques et de réseaux.

⁵¹ Nous utilisons pour notre recherche une technique utilisée pour l'analyse des réseaux sociaux, nommée comme *Social Network Analysis*. La théorie des réseaux sociaux conçoit les relations sociales en termes de nœuds et liens. Les nœuds sont habituellement les acteurs sociaux dans le réseau mais ils peuvent aussi représenter des institutions, et les liens sont les relations entre ces nœuds. Cette théorie a été adaptée dans le cadre de cette thèse pour l'analyse des liens d'acquisition des artefacts.

⁵² + : artefact acquis.

⁵³ - : artefact non acquis.

⁵⁴ Format .csv : *Comma-separated values* traduit en langue française avec « valeur séparés d'une virgule ». Ce format informatique ouvert représente des données tabulaires sous forme de valeurs séparées par des virgules.

Voici un exemple réalisé pour le test 1 :

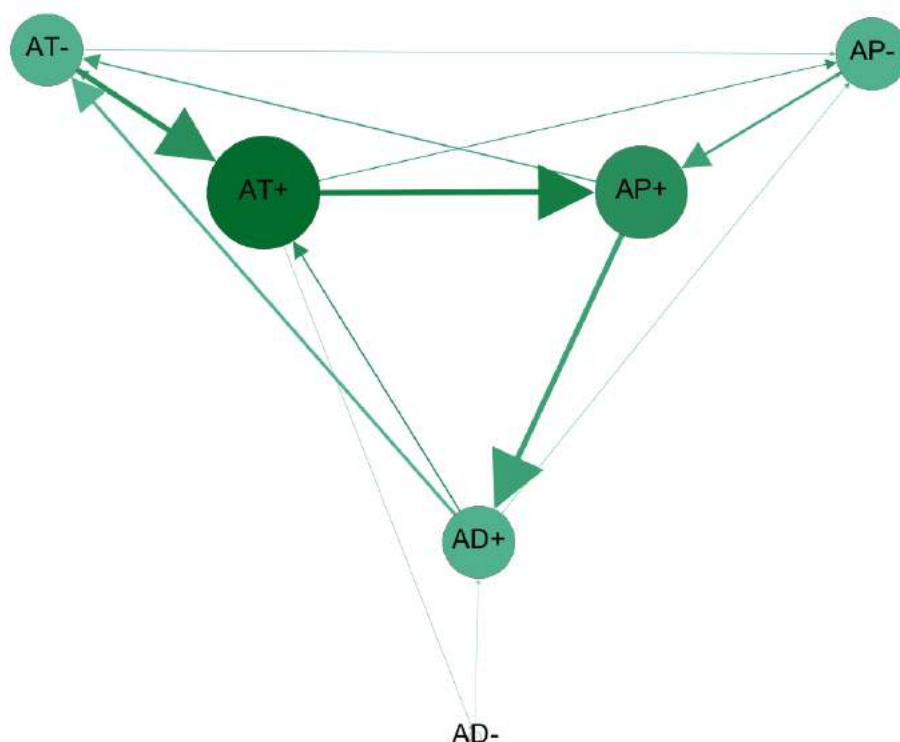


Figure 62 : Parcours d'acquisition des artefacts. Connexions observées dans l'exploration du SG réalisée pour le test 1

Quelques éléments pour comprendre les illustrations de la Process Network Analysis)

Avant de procéder à la présentation des résultats, nous allons expliquer comment les données de la PNA sont présentées. Dans ce but nous nous appuyerons sur le schéma de la figure 62.

Au centre du graphique il est possible d'observer un « triangle interne » formé par AT+, AP+ et AD+ (signifiant respectivement l'acquisition des artefacts techniques pédagogiques et didactiques). Un « triangle externe » est dessiné en ayant comme sommets AT-, AP- et AD- (signifiant respectivement la non-acquisition des artefacts techniques pédagogiques et didactiques). Graphiquement, nous observons des cercles de différents diamètres qui représentent le nombre de fois où cet artefact a été connecté avec le suivant ou le précédent dans le processus d'apprentissage. Les flèches reliant les artefacts représentent la fréquence de la connexion entre deux nœuds. En ce qui concerne l'exemple illustré par la figure 62 (test 1) nous pouvons vérifier dans le tableau 81 que AT+ a été connecté 27 fois avec d'autres nœuds, notamment AT-, AP+, AD+ et AP-. Dans ces observations, nous considérons comme apprentissage réussi, ou *instrumentalisation des artefacts* qui constituent l'apprentissage, les cas qui montrent une présence nette des connections entre les nœuds formant les triangles internes

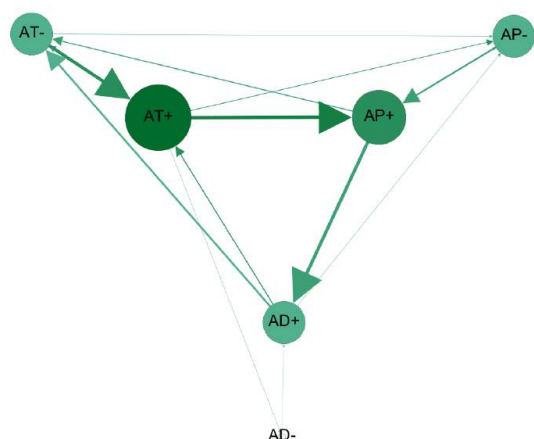
du système (AT+, AP+ et AD+). La présence d'une ou plusieurs connexions ayant une épaisseur plus importante par rapport au triangle formé à l'intérieur, devra être soigneusement interprétée et analysée : cette situation pourrait être identifiée comme un conflit instrumental.

8.2. Résultat des observations du processus d'acquisition des artefacts

8.2.1. Présentation des résultats individuels : quelques exemples

Dans ce paragraphe, nous allons présenter les exemples les plus représentatifs des processus d'apprentissage qui ont été observés et analysés lors de l'exploration du SG par les sujets. Nous ne présenterons pas ici les 22 tests, qui seront consignés dans leur intégralité dans données dans les annexes.

Analyse du Test 1 :



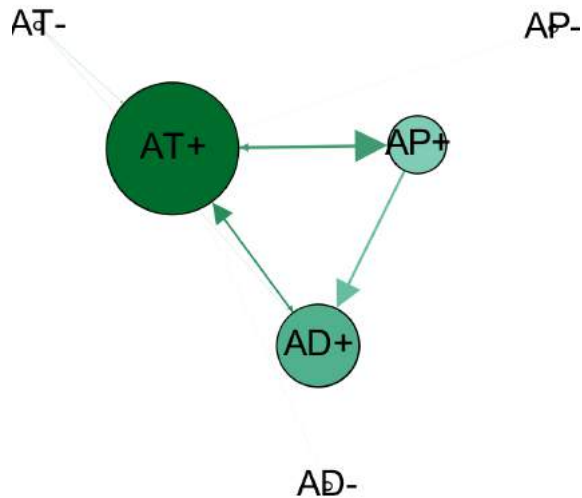
	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-
AT+	0	10	0	0	2	1
AP+	1	0	10	10	1	0
AD+	3	0	0	0	1	0
AT-	10	0	0	0	1	0
AP-	0	5	0	0	0	0
AD-	0	0	1	1	0	0

Figure 63 : Parcours d'acquisition des artefacts. Test 1

Tableau 82 : Connexion des artefacts. Test 1

Sur la figure 63, nous pouvons observer une activité importante entre les trois nœuds du triangle interne. AT+ est le nœud qui a été le plus souvent connecté à d'autres nœuds (AP+ AP- AT+). Des connexions très fréquentes relient AT- et AT+, et elles sont aussi nombreuses que celles qui sont établies entre AT+ et AP+ : on peut supposer que la personne a eu quelques difficultés de manipulation à différents stades du cheminement (AT+, AD+ et AP+) de l'interface qui ont néanmoins été résolues (une connexion importante entrant en AT+), ce qui signifie une appropriation de l'artefact technique ou le rappel de la règle à appliquer (exemple tiré des observations : « Elle essaie d'abord de cliquer sur les objets entourés en jaune (AT-). Puis elle s'approche des objets car elle se souvient qu'il faut se rapprocher (AT+) »).

Analyse du test 3 :



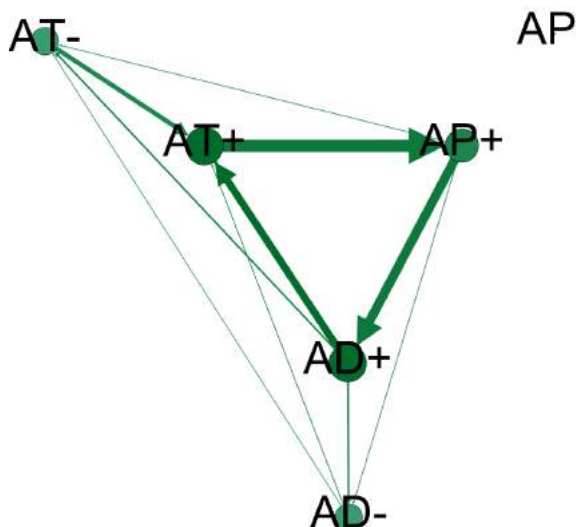
	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-
AT+	0	12	3	0	1	0
AP+	4	0	10	0	0	0
AD+	8	1	0	2	0	0
AT-	2	0	0	0	0	0
AP-	0	0	0	0	0	1
AD-	1	0	0	0	0	0

Figure 64 : Parcours d'acquisition des artefacts. Test 3

Tableau 83 : Connexion des artefacts. Test 3

Sur la figure 64, nous pouvons observer un processus d'apprentissage très rapide et efficace. La personne n'a quasiment pas eu de problèmes dans l'utilisation de l'outil. Le parcours le plus pratiqué est en effet celui qui rend compte d'une appropriation des artefacts de façon linéaire avec très peu de phénomènes de non-acquisition.

Analyse du test 5 :



	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-
AT+	0	13	3	1	0	0
AP+	2	0	10	1	0	1
AD+	8	1	0	2	0	2
AT-	5	0	0	0	0	0
AP-	0	0	0	0	0	0
AD-	1	0	1	1	0	0

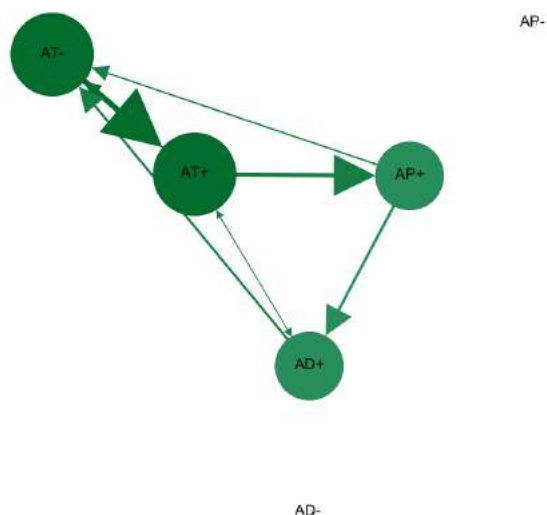
Figure 65 : Parcours d'acquisition des artefacts. Test 5

Tableau 84: Connexion des artefacts. Test 5

Sur cette figure 65, il est possible d'observer un processus d'apprentissage ayant abouti à un résultat optimal mais qui a néanmoins présenté quelques problèmes mineurs d'ordre technique (AT-) qui sont apparus plus précisément à la fin de chaque cycle d'artefact. En effet, après avoir eu accès à la norme, la personne exprimait des doutes sur la façon dont se faisaient les interactions avec l'interface. Voici un exemple : « Le sujet clique d'abord sur la charlotte pour

la mettre sur la tête, puis se souvient que pour l'endosser il faut effectuer un drag and drop (AT- → AT+). Il pose la charlotte sur la tête de l'avatar. « Ah ok ». Ensuite il s'approche du distributeur de gel désinfectant et il dit : « désinfection ! » (AD+). Il essaye de mettre son pantalon dans l'armoire des vêtements de ville. Ça ne marche pas car il n'a pas enlevé ses vêtements de ville, il est encore entièrement habillé. Il dit « je ne peux pas » (AT-). Je lui réponds « il faut enlever les vêtements » ». Aucun problème relatif à l'acquisition de l'artefact pédagogique n'a été observé chez ce sujet.

Analyse du test 40 :



	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-
AT+	0	10	2	4	0	0
AP+	0	0	7	4	0	0
AD+	2	0	0	6	0	0
AT-	14	1	0	0	0	0
AP-	0	0	0	0	0	0
AD-	0	0	0	0	0	0

Figure 66 : Parcours d'acquisition des artefacts. Test 40

Tableau 85 : Connexion des artefacts. Test 40

Sur la figure 66, il est possible d'observer un phénomène qui est révélateur d'un conflit instrumental : un déséquilibre sur l'artefact technique. En effet, la quantité de connexions en direction du nœud AT- (AT+, AP+ et AD+) est plus importante que celle qui relie AT- → AT+, ce qui signifierait que, même en présence de difficultés technique, une acquisition et une aisance dans l'acquisition des artefacts a été atteinte. Même si nous pouvons admettre qu'une partie des erreurs commises par le sujet ont été résolues (grâce aussi à la présence du chercheur qui guidait la personne dans la prise en main du logiciel), la personne n'a jamais atteint un état de confiance dans l'utilisation de l'artefact technique. Il est, cependant, très intéressant de noter que la personne a tout de même pu accéder au scénario ainsi qu'aux contenus pédagogiques (AP+ et AD+), une fois que nous l'avons, d'une certaine manière, aidée à manipuler le logiciel.

A travers ces quelques exemples sélectionnées, et en les recoupant avec les autres, nous pouvons identifier l'existence de différents profils d'utilisateurs :

- il existe des sujets qui font systématiquement les mêmes erreurs techniques, certains car ils ne se souviennent plus des commandes, d'autres parce qu'ils se précipitent dans l'action et négligent de « s'approcher des objets » avant de les sélectionner. Réalisée par les sujets cette erreur est causée par la distance physique de l'avatar à l'objet virtuel, qui est analysée

comme $AT^- \rightarrow AT^+$: celle-ci semble être la plus fréquente ;

- il existe des sujets qui sont plus exploratoires et curieux, et qui cherchent à réaliser des actions sans disposer des bases théoriques ni avoir trouvé l'information dans le scénario. Bien souvent, ces utilisateurs trouvent la réponse par eux-mêmes et commentent leurs erreurs. Il s'agit de personnes qui se souviennent mieux de leurs connaissances acquises une fois la formation terminée. Chez ces personnes, nous trouvons souvent des connexions entre $AT^+ \rightarrow AP^- \rightarrow AD^- \rightarrow AP^+ \rightarrow AD^+$, c'est le cas, par exemple, quand la personne encore avant d'accéder au POI réalise un habillage incorrect et puis elle se corrige après la visualisation du contenu pédagogique.

8.2.2. Présentation globale des résultats

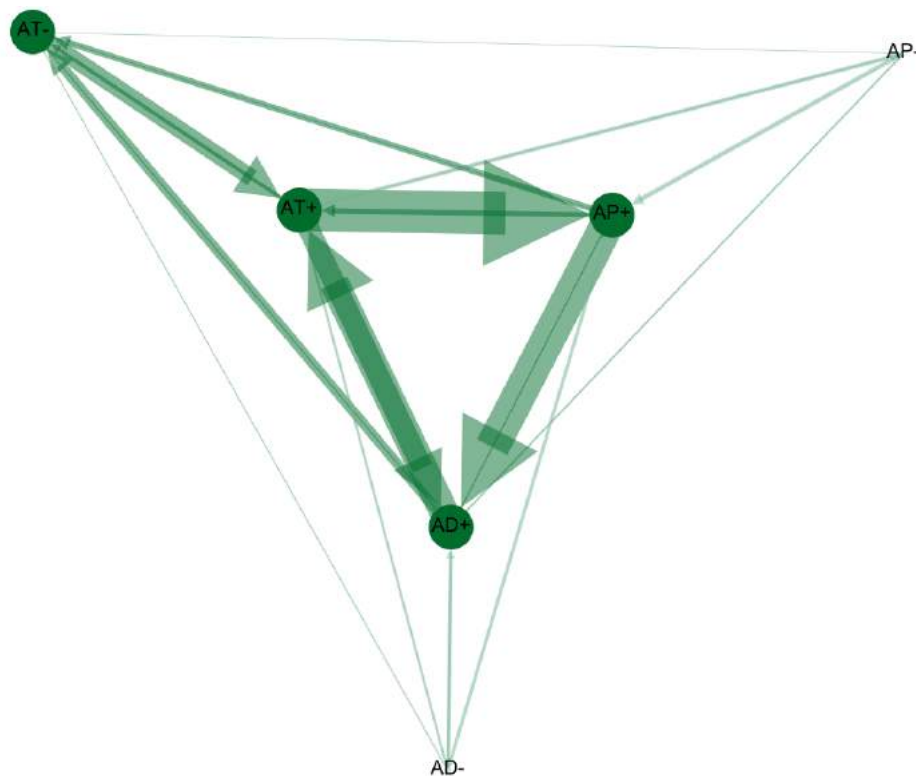


Figure 67 : Parcours d'acquisition des artefacts. Ensemble des tests

	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-
AT+	0	192	97	17	19	2
AP+	24	0	153	29	2	16
AD+	132	6	0	46	9	8
AT-	78	3	5	0	4	3
AP-	6	21	5	1	0	2
AD-	12	1	16	5	0	0

Tableau 86: Connexion des artefacts. Ensemble des tests

Grâce la figure 67 nous pouvons nous faire une idée plus précise du processus global d'apprentissage au sein du SG. En effet, il est possible d'observer des flèches qui connectent plus

fortement les trois nœuds AT+, AP+ et AD+ (triangle interne), ce qui prouverait la présence d'un véritable processus d'instrumentalisation des artefacts, qui rendrait possible un apprentissage efficace. Néanmoins, il est possible d'observer une présence de flèches d'épaisseur importante qui connectent, d'une part, AP+ avec AT- (153) et, de l'autre, AD+ avec AT- (46). Ce phénomène montrerait que certaines difficultés dans l'utilisation de l'artefact technique (AT-) se vérifieraient lors de l'exploration du scénario pédagogique et après avoir accédé et/ou appliqué le contenu d'apprentissage. Toutefois, nous pouvons observer la présence d'une connexion entre AT- et AT+ témoignant d'un nombre de connexions suffisant (78) et qui nous permet d'affirmer que ces problèmes ont été résolus par les sujets. De ce fait, le processus maintient sa place centrale dans l'apprentissage en montrant sa cohérence par rapport au modèle de l'adaptation instrumentale.

Nous en donnons une explication en nous aidant d'une image significative.

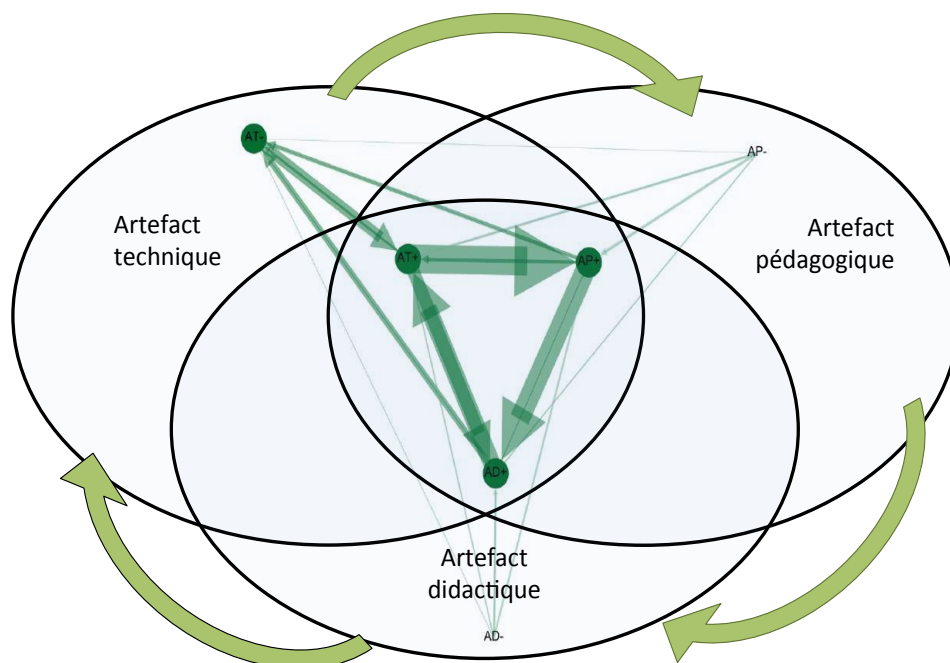


Figure 68: Parcours d'acquisition des artefacts et modèle de l'adaptation instrumentale. Ensemble des tests

Dans la figure 68, nous présentons le processus d'appropriation des artefacts et nous le mettons en relation avec le modèle de l'adaptation instrumentale que nous avons présenté dans la partie théorique. Nous pouvons observer que le poids des connexions des artefacts se répartit de façon plus ou moins homogène entre les trois nœuds centraux qui symbolisent l'appropriation des artefacts techniques, pédagogiques et didactiques. En nous inspirant des propos de Rabardel (1995), nous pouvons dire que ces artefacts ont été instrumentalisés par le sujet. L'apprenant a donc investi ces artefacts (objet symbolique ou technique) dans un sens qui lui en ont permis leur appropriation et devenir des instruments susceptibles d'être transposés dans d'autres situations.

Dans la figure 69 nous présenterons une variante du parcours d'acquisition des artefacts qui inclut une pondération des artefacts mis en jeu dans le processus. Nous avons notamment modifié leur distance au centre du diagramme en fonction du nombre de connexions qui ont été comptées pour chaque nœud.

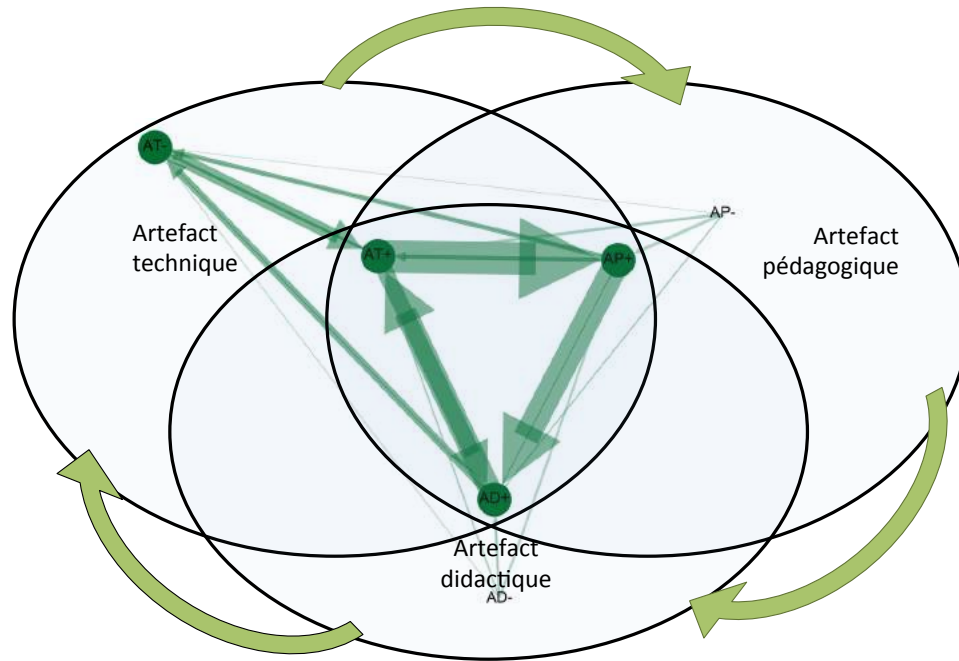


Figure 69: Parcours d'acquisition pondérée des artefacts et modèle de l'adaptation instrumentale. Ensemble des tests

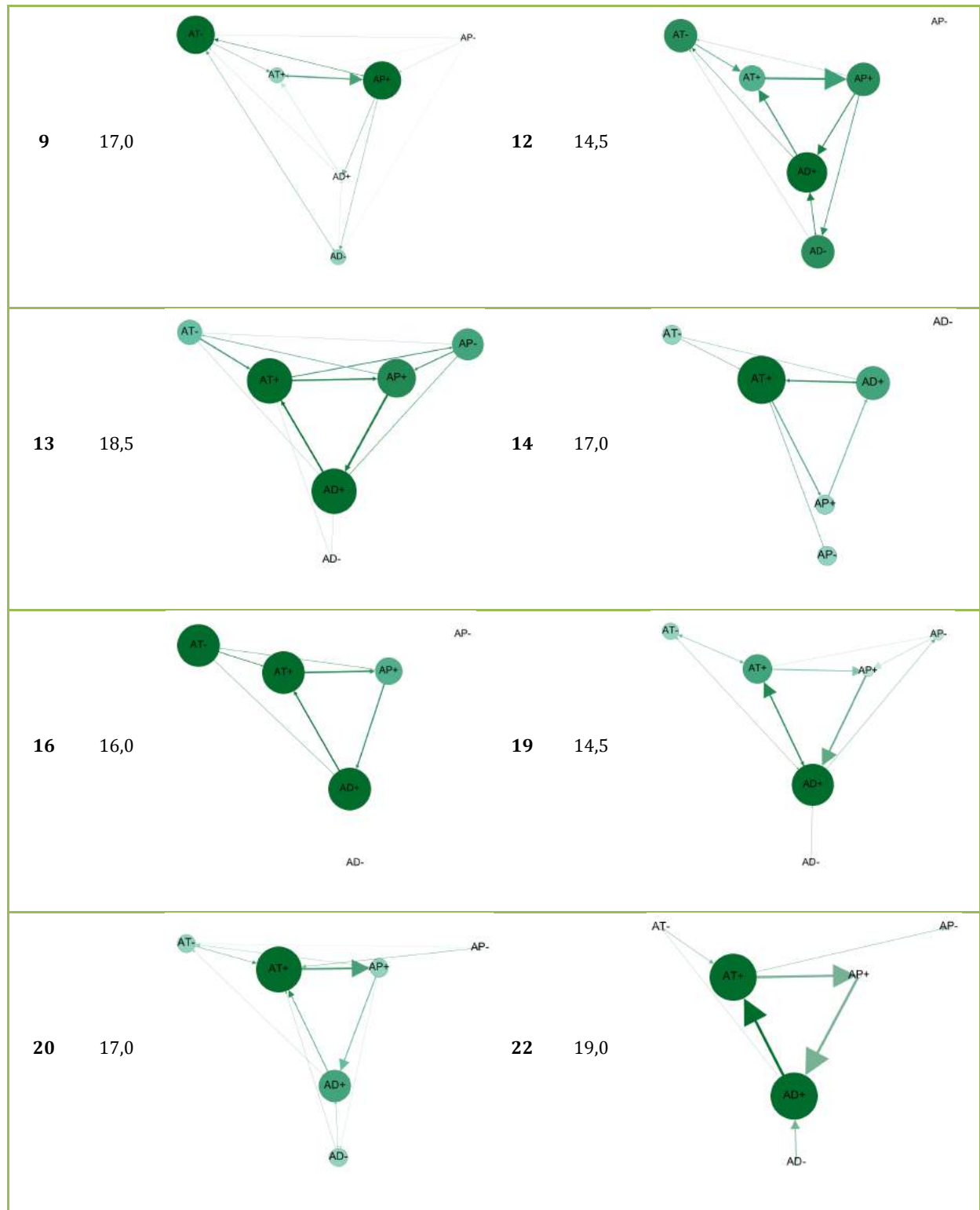
Il est alors possible d'observer une version pondérée du parcours d'acquisition. Dans ce contexte, l'appropriation des artefacts forme des liens qui s'approchent du centre du système, alors que la non-acquisition des artefacts tend à déplacer le nœud vers l'extérieur du système. Dans ce cas, nous pouvons observer une concentration du poids du système au centre du diagramme, à l'intersection des trois artefacts. Visuellement, cette zone représente l'adaptation optimale entre les trois artefacts. En ce qui concerne l'artefact technique, sa distance est la plus importante par rapport au centre. En effet, cette distance dépend du nombre de connexions que les autres artefacts partagent avec ce nœud et qui représentent les hésitations, les incertitudes ou les points obscurs que les apprenants ont expérimentés vis-à-vis de cet artefact tout au long du processus. Une autre information intéressante est transmise par l'orientation prédominante que les flèches tracent. Dans ce cas, les sujets débutent leur parcours par l'artefact technique et le poursuivent avec une immersion dans le scénario pédagogique qui leur fournit les éléments principaux permettant d'accéder aux règles sous-jacentes intégrées au SG.

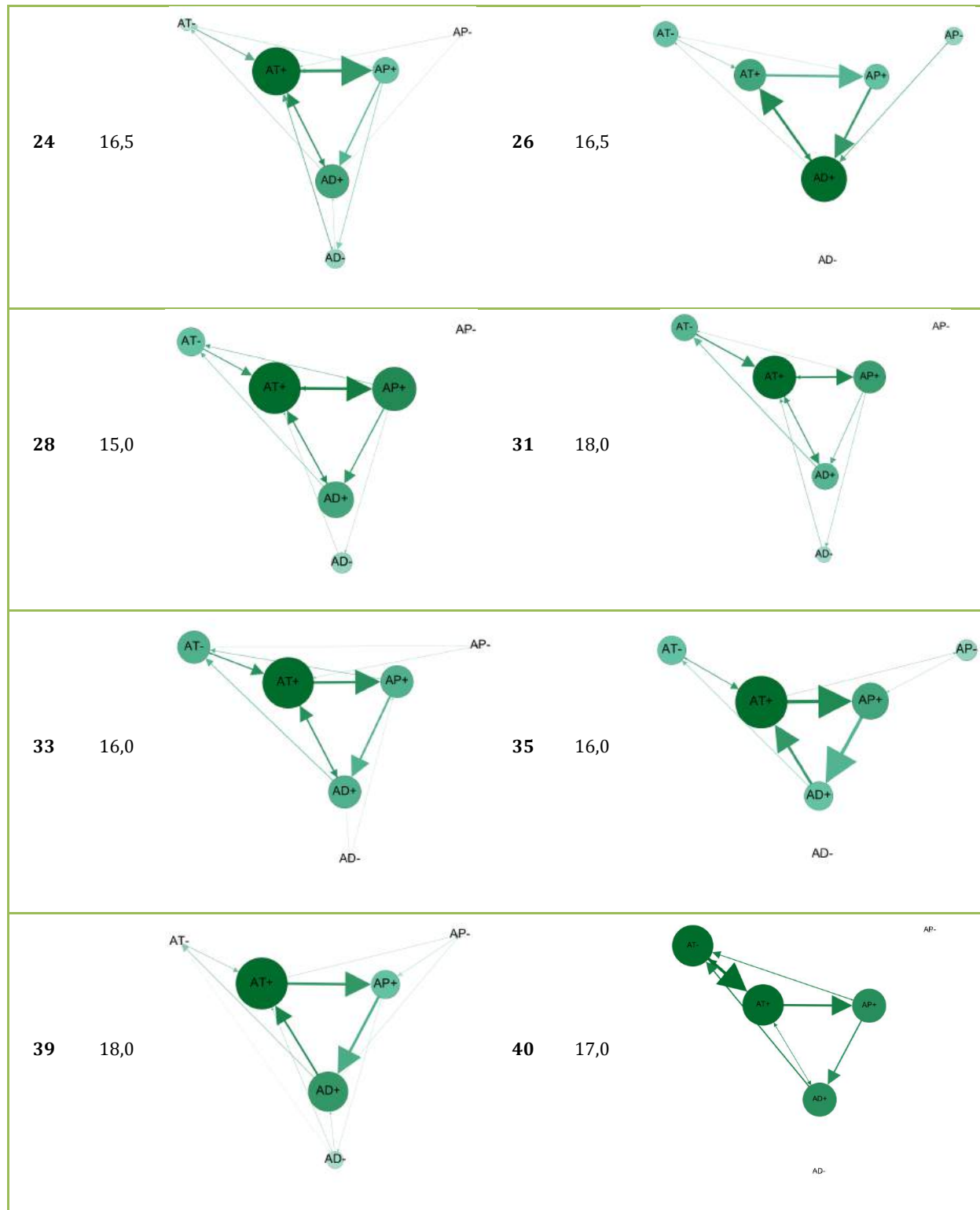
L'analyse que nous avons réalisée sur le cycle d'acquisition des artefacts et à leur instrumentalisation consécutive dans le SG et dans l'apprentissage de façon globale, montre la pertinence de ce modèle par rapport aux objectifs visés. De plus, cette observation du processus

offre des informations qui sont très intéressantes pour le concepteur. Bien qu'habituellement le poids des artefacts place le processus d'acquisition au centre du système, certains problèmes liés aux artefacts techniques doivent être pris en considération. D'après cette observation, nous pourrions fournir un diagnostic précis des actions erronées les plus fréquentes et faire des propositions d'améliorations. Cette procédure d'investigation pourrait, en effet, être utilisée au même titre qu'un test d'utilisabilité, non seulement pour les dispositifs éducatifs ou d'apprentissage, mais aussi pour toute autre catégorie de support numérique qui prévoit une interaction avec un utilisateur. L'acquisition ou la non-acquisition des artefacts présents dans le système pourrait en effet être désignée par la distance que ces artefacts ont par rapport au centre, ou selon la force des connexions observables entre les nœuds positifs et négatifs. Nous argumenterons davantage cette proposition lors de la discussion des résultats (cf. chapitre 8.3).

Dans le tableau 87 ci-dessous nous présentons les résultats de la PNA appliqués aux 22 sujets dont les activités d'exploration ont été retranscrites (pour rappel, nous avons eu une défaillance technique au niveau de la caméra pour le test n° 8).

N° Test	Score Post - test	Processus acquisition artefacts	N° Test	Score Post - test	Processus acquisition artefacts
1	16,0		3	20,0	
5	18,0		7	19,0	





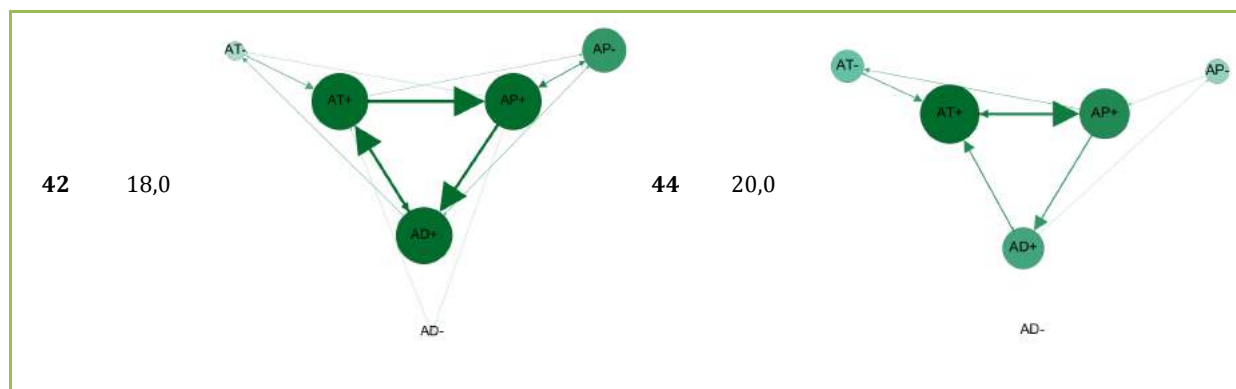


Tableau 87 : Parcours d'acquisition des artefacts et résultat au post-test pour l'ensemble des tests

Dans ce tableau, nous avons essayé de mettre en relation les figures dérivées de la connexion des nœuds avec les scores globaux que les sujets ont obtenus au post-test. Les résultats de ces rapprochements ne sont pas faciles à interpréter pour deux raisons : d'une part, nous n'avons pas eu accès au processus interne d'apprentissage pour le protocole traditionnel, car il aurait fallu d'abord demander aux sujets de verbaliser toutes leurs pensées au moment de la lecture du document, puis de réaliser une métaréflexion⁵⁵ de leur processus à l'issue de cette lecture. En outre, cette méthodologie d'analyse aurait pu conduire à de nombreux biais comme par exemple le fait que toute personne ne serait pas en mesure de décrire le processus ou se sentirait gênée à le faire. Enfin, il nous aurait fallu obtenir un résultat négatif au post-test, ce qui n'a pas été le cas pour les sujets ayant suivi la formation avec le SG.

Nous pouvons toutefois observer de petites différences ou phénomènes récurrents qui peuvent nous permettre d'avancer les hypothèses concernant le lien entre la manière dont le processus d'acquisition se dessine dans les figures - grâce à la connexion entre les nœuds - et les résultats que les sujets ont obtenus au post-test.

Performances au post-test comprises entre 18 et 20 : en analysant les figures des processus d'acquisition des artefacts, nous pouvons observer une forte occurrence de liens entre les trois artefacts centraux qui correspond à l'appropriation de ces-mêmes artefacts pour les personnes ayant eu une note au post-test comprise entre 18 et 20. Même dans le cas où une dispersion plus importante était observée au niveau du triangle externe, l'épaisseur des flèches orientées vers le triangle interne confirmerait que les problèmes rencontrés par l'apprenant ont trouvé leur solution. En d'autres termes, que les artefacts présents dans la formation avaient été acquis par le sujet.

Performances au post-test comprise entre 14 et 16 : en analysant les figures des processus d'acquisition des artefacts, nous pouvons observer que la dispersion des flèches vers le triangle extérieur est plus importante. De plus, l'épaisseur des flèches réorientées vers le triangle interne

⁵⁵ Définition de méta-réflexion : perception qu'un individu a de sa propre réflexion, en d'autres termes, il s'agit de l'analyse qu'un sujet réalise *a posteriori* sur sa propre démarche de réflexion.

est inférieure lorsqu'on le compare à celle des sujets ayant obtenu des résultats situés entre 18 et 20. Dans ce dernier cas, nous pouvons affirmer qu'une acquisition partielle des artefacts a été réalisée.

8.3. Discussion des résultats

Dans cette partie, nous allons mettre en discussion les résultats issus de l'analyse qualitative que nous avons réalisée, en les mettant en regard des trois hypothèses que nous avons formulées.

L'hypothèse 2a affirmait que « *Tout apprentissage, médié ou non par les technologies informatiques, nécessite, pour être efficace, une adaptation optimale des trois artefacts (technique, pédagogique et didactique) qui composent le système d'apprentissage* ».

Bien que cette hypothèse ait été confirmée dans le cas du SG LabQuest, elle devrait être vérifiée sur d'autres dispositifs d'enseignement-apprentissage, c'est-à-dire non seulement être appliquée à d'autres dispositifs d'apprentissage utilisant les technologies numériques, mais aussi prendre en considération les processus d'acquisition traditionnels. A cet égard, nous avons proposé, lors de la présentation du modèle de l'adaptation instrumentale, différentes situations d'apprentissages non médiées par les technologies informatiques qui expliquent sommairement comment ce processus d'appropriation d'artefacts peut se dérouler. Nous pensons, néanmoins, qu'un protocole d'observation et d'analyse des résultats similaire à celui qui a été présenté dans cette thèse devrait être appliqué dans le but de confirmer la pertinence de ce modèle :

- pour des apprentissages hétérogènes utilisant des technologies numériques (MOOCS, FOAD, etc.) ;
- pour des apprentissages plus traditionnels (écriture, poterie, etc.).

Ces propositions rejoignent l'analyse des résultats que nous avons réalisée dans la toute dernière partie du chapitre 8.2 à propos de la corrélation entre les figures illustrant le processus d'appropriation des artefacts et les résultats au post-test des sujets ayant été formés avec LabQuest.

L'hypothèse 2b soutenait que « *l'appropriation des artefacts dans un système d'apprentissage type se fait de façon hiérarchisée et spiralaire, comme présentée dans le modèle de l'adaptation instrumentale. Le sujet doit, dans un premier temps, se rendre assez autonome dans la maîtrise de l'artefact technique (dans le cas spécifique du SG, des commandes et des interactions avec les objets et l'environnement) pour accéder ensuite à l'artefact pédagogique, c'est-à-dire le formalisme de représentation d'une norme ou d'une règle puis, à l'artefact didactique (le but de l'apprentissage)* ». Nous pouvons considérer cette hypothèse comme étant vérifiée. En effet, lors

de l'analyse des processus d'acquisition des artefacts, nous avons montré que les sujets commencent toujours avec l'acquisition des artefacts techniques (l'interface qui permet d'avoir des actions sur l'environnement), suivie de l'accès au scénario pédagogique (artefact pédagogique), autrement dit à l'historique qui, à son tour, permet d'aborder les vrais objectifs de la formation, à savoir les objets didactiques. Cette hypothèse est confirmée non seulement par le cycle de présentation des artefacts lors du codage du processus d'apprentissage, mais il est aussi visible dans les figures de la PNA qui ont été réalisées avec le logiciel *Gephi* qui rendent explicites les connexions entre les nœuds.

L'hypothèse 2c stipulait que : *« l'acquisition des artefacts au sein d'un processus d'apprentissage ne se fait pas une fois pour toute mais suit, au contraire, un processus d'adaptation progressive. Afin de réussir son apprentissage, le sujet doit pouvoir maîtriser les trois artefacts présents à l'intérieur du système. Un déséquilibre entre les trois artefacts peut avoir comme conséquence un conflit instrumental et donc un échec dans l'apprentissage lui-même »*. Cette hypothèse voit sa confirmation comme conséquence de l'hypothèse 2b. En effet, certaines informations, notamment portant l'utilisation de l'artefact technique, doivent apparaître à plusieurs reprises avant que la personne puisse en avoir une complète maîtrise. Nous avons déjà évoqué, par exemple, le problème rencontré par l'utilisateur lorsqu'il essaie de cliquer sur un objet entouré d'une lumière jaune - ce qui présuppose que l'objet est trop éloigné – même si cette règle d'interaction a été expliquée dans le tutoriel au début de la formation. D'autres erreurs de ce type ont été faites par les utilisateurs à différents moments de la période de l'exploration. Ces erreurs, qui sont de l'ordre de l'appropriation de l'artefact technique, sont rapidement corrigées et elles se présentent de moins en moins souvent avec l'état d'avancement de la personne dans le jeu. Nous n'avons pas eu la possibilité d'observer des situations de conflits lors d'explorations de l'environnement d'apprentissage. En effet, les utilisateurs ont toujours trouvé une solution pour résoudre les problèmes techniques qu'ils rencontraient.

Trois autres points méritent cependant d'être soulignés :

1. L'apprentissage utilisant les technologies numériques est plus facilement observable que l'apprentissage « traditionnel » ou « classique ». Il est évident que l'exploration du processus d'apprentissage a été beaucoup plus simple à analyser car son cheminement pouvait être observé par une personne externe. Cette possibilité n'existait pas pour l'apprentissage sans LabQuest. Bien ayant été témoin de la manipulation que les sujets faisaient du document papier (certains revenaient sur des pages précédentes, d'autres se mettaient à souligner des passages de textes), nos observations n'ont pas révélé d'autres comportements particuliers lors de la lecture du document qui, s'est effectuée pour la

- pluspart des cas dans le silence à exception de quelques commentaires sur le document lu et verbalisations à voix haute dont nous avons reproduit les contenus dans le chapitre 7.2.
2. L'artefact technique peut être transparent ou opaque. Afin de mieux comprendre quelle peut être sa place dans une situation d'apprentissage classique, il faudrait pouvoir l'identifier et en codifier l'appropriation mais il n'est pas toujours facile de le faire. Si on reprend l'exemple de l'apprentissage de l'écriture, on comprendra les difficultés que l'on rencontre à suivre et à contrôler toutes les variables qui l'impactent.
 3. Afin de mieux comprendre les phénomènes de conflits instrumentaux, il faudrait pouvoir analyser une situation d'apprentissage médiatisée par les technologies informatiques qui ne conduise pas à une véritable acquisition de connaissances ou de compétences. Nous pourrions probablement, de cette manière, comprendre quels comportements et quelles connexions seraient observables dans de telles circonstances.

De façon plus générale, nous pouvons affirmer que, même si dans LabQuest nous sommes confrontés à des difficultés techniques de manipulation de l'interface homme-machine, elles sont minimisées durant l'avancement de l'exploration par l'apprenant jusqu'à ce qu'elles deviennent, à l'usage, complètement transparentes. Nous pouvons aussi affirmer que LabQuest ne présente pas de conflits instrumentaux et que l'acquisition des connaissances ainsi que, plus précisément, le développement des compétences professionnelles, se fait avec succès. De plus, comparée avec les formations disponibles sur le marché de la production pharmaceutique, la formation avec LabQuest se révèle plus efficace pour le développement des compétences.

L'adaptation instrumentale : un test d'utilisabilité ?

Lors de la conception de cette méthodologie qui a consisté à adapter la *network analysis* à l'appropriation des artefacts, nous avons fait une observation importante : lorsqu'il existe une difficulté d'acquisition, celle-ci concerne l'artefact technique. En effet, cette difficulté a été signalée à plusieurs reprises par les différents utilisateurs de LabQuest, ainsi que par les concepteurs du SG eux-mêmes. S'il y a eu au départ la volonté de rendre les déplacements dans le logiciel les plus « naturels » possible (d'un point de vue humain), reproduits notamment par l'interface homme-machine par la possibilité de relier le mouvement du regard avec le déplacement dans l'environnement, ce système de déplacement reste cependant peu intuitif. Cette observation nous a permis de comprendre que cette méthode conçue pour le codage et l'analyse de l'exploration de l'environnement LabQuest pouvait aussi être utilisée comme test d'utilisabilité appliqué aux environnements d'apprentissage. Dans cet objectif, il est nécessaire de bien codifier, au sein du dispositif d'apprentissage, ce que l'on considère comme artefacts technique, pédagogique et didactique, au même titre que nous l'avons fait avec LabQuest. Une fois toutes les connexions réalisées, il s'agira de comprendre quels sont les nœuds les plus

concernés par un nombre important de connexions et, par conséquent, quelles précautions seraient les mieux adaptées pour améliorer le dispositif. Ce test d'utilisabilité, à la différence de celui que nous avons réalisé nous-mêmes, permettrait de comprendre à quels niveaux l'apprentissage présente des conflits. Il est évident qu'il y a, dans certains dispositifs, bien que l'interface ne présente pas de conflit au niveau technique, des incohérences dans la présentation du scénario pédagogique ou alors une difficulté d'accès aux objets didactiques de la part de l'apprenant. Nous en revenons donc à l'importance de réaliser une conception pédagogique (*instructional design*) de l'outil qui tienne compte de ces différentes adaptations.

9. Discussion générale et conclusions

A l'issue du travail de recherche que nous venons d'entreprendre, subsistent de nombreuses questions ainsi que des sujets qui nous paraissent avoir besoin d'être approfondis. Dans cette discussion, nous allons, tout d'abord, résumer l'architecture de la thèse afin d'en retrouver sa vision globale. Nous discuterons ensuite ses résultats et les mettrons en perspective avec les approches théoriques choisies. Nous exposerons enfin les questions encore ouvertes, notamment celles concernant d'éventuelles recommandations que nous pourrions proposer pour situer notre recherche dans une dimension évolutive.

9.1. Le point de la situation

Comme nous l'avons argumenté à plusieurs reprises, la réalisation d'une thèse sous contrat CIFRE est un exercice de recherche particulier dans son genre. D'une part, l'entreprise demande au doctorant de fournir un travail sur le produit qui doit rapidement s'appliquer à la production de résultats à des fins commerciales ou économiques ou pour répondre à un besoin d'ordre financier dans des délais très courts. D'autre part, le doctorant doit chercher à rendre son activité de recherche pertinente dans l'optique de l'intégrer dans le panorama scientifique et d'apporter une contribution à sa communauté scientifique d'appartenance. De ce fait, lors de cette thèse nous avons travaillé parallèlement : 1° à la conception du SG LabQuest ayant comme objectif la formation et l'évaluation des compétences du personnel de production des entreprises pharmaceutiques ; 2° à la mise en valeur de la démarche ingénierique ainsi que la conception et la vérification des modèles qui ont évolué tout au long de cette période d'activité de recherche.

En ce qui concerne la conception du SG, la pertinence ainsi que l'efficacité de ce produit, au sujet du développement des compétences professionnelles, ont été testées d'une part par le protocole expérimental de test destiné à comparer les performances pré et post-test de deux groupes de personnes qui ont été formés au moyen de deux dispositifs de formation l'un de type traditionnel (comportant la lecture de procédures) *via* le SG. Nos résultats globalement positifs, concernant la façon dont les personnes apprennent des gestes professionnels au sein du SG, nous légitiment à affirmer que l'efficacité de la formation est liée, au moins en partie, à celle du modèle de conception qui a été appliqué à LabQuest.

Nous avons par la suite jugé utile de formaliser la démarche ingénierique employée pour créer un modèle de conception de SG (PEGADE) qui puisse être appliqué pour concevoir d'autres dispositifs. La partie pragmatique de notre travail, nous montre que ce modèle appuie ses fondations sur deux paradigmes théoriques : la théorie du conflit instrumental et l'analyse de

l'activité. A ce titre nous affirmons, en accord avec Mayer (2014), que les apprentissages les plus efficace sont conçu autours des apprenant – approche autour de l'utilisateur – en opposition à une approche plus techno-centrique. Cette vision de l'ingénierie pédagogique s'appuie sur la présupposition que l'apprenant est le sujet le mieux placé pour indiquer ce qui lui est le plus adapté et nécessaire pour son propre apprentissage. C'est pour cette raison que nous avons débuté la conception du SG dans une perspective d'UCD (*User-Centered Design*). Cependant, l'objectif de l'apprentissage étant le développement de compétences, cette approche a nécessité l'opérationnalisation des méthodes d'analyse de l'activité de travail, notamment déployées par la didactique professionnelle. En effet, l'analyse du travail nous a permis de réaliser un diagnostic précis, non seulement des besoins de la formation de type normatif (ce que les opérateurs doivent faire aboutir en termes d'objectifs) mais en plus de l'identification de toutes les variables qui posent problème au travailleur pour l'aboutissement de sa mission, de son « travail ». Dans certains cas, cette approche nous a permis de mettre en évidence l'écart entre la tâche prescrite et la tâche réelle, ainsi que les contraintes liées à l'environnement de travail. Ce sont notamment ces déviations que nous avons jugé nécessaire d'approfondir afin de donner plus de visibilité aux arguments qui rendent compréhensibles les facteurs les plus critiques de ce milieu de travail.

Si, d'une part, l'analyse de l'activité de travail a été opérationnalisée pour identifier les points critiques de la formation aux gestes professionnels en milieu aseptique, de l'autre, la théorie du conflit instrumental (et plus précisément sont évolution, l'adaptation instrumentale) a permis de diriger la conception du dispositif de formation. En effet, ce modèle nous a permis de maintenir une attention particulière aux situations qui peuvent créer des conflits instrumentaux et, par conséquent, d'être des obstacles pour l'acquisition de l'apprentissage. Les artefacts pédagogiques (le scénario, les mécanismes d'apprentissage) et techniques (la manière dont les choix pédagogiques sont traduits en termes de graphismes et de *gameplay*) ont été choisis et modifiés tout au long du processus de conception afin d'éviter ou de résoudre les éventuelles situations de conflit. Ces choix ne pas été dictés une fois pour toutes, mais elles sont réalisées selon les cas. Dans cette thèse, nous avons donné quelques exemples pratiques sur la manière dont ces choix ont été opérés.

La conception de LabQuest a été extrêmement délicate pour deux raisons : d'une part, des modèles de conception de SG sont très rares car les entreprises qui les conçoivent veulent garder la confidentialité sur leur manière de travailler qui n'est pas, parfois, formalisée de façon précise ; de l'autre, la littérature scientifique nous alerte sur le fait que, souvent, les jeux éducatifs n'atteignent pas une véritable efficacité pédagogique en termes d'apprentissage et, qu'au contraire, les mêmes compétences sont parfois acquises plus facilement avec des jeux

vidéo tout courts. Aussi, avons-nous trouvé nécessaire la formalisation d'un modèle de conception pédagogique pour la conception des SG que nous avons nommé PEGADE (PEdagogical GAmE DEsign). Présenté dans la partie pragmatique de notre thèse, ce modèle, pose au centre de la conception une nouvelle figure professionnelle : le PGD (*Pedagogical Game Designer*). Elle constitue une véritable innovation par rapport aux modèles de SG *design* connus à ce jour. Le PGD s'occupe, ici non seulement de l'identification des contenus pédagogiques nécessitant d'être intégrés, mais il est aussi le garant de l'articulation du travail afin de produire une adaptation optimale des artefacts inclus dans le dispositif d'apprentissage. Nous avons également vu comment les compétences d'un PGD ne doivent pas s'arrêter à des missions pédagogiques, mais au contraire, elles doivent s'étaler sur des disciplines comme le *game design*. En outre, le PGD doit avoir une culture technique étendue de manière à pouvoir échanger sur ces aspects avec les personnes ayant en charge le développement et l'architecture technique du logiciel. Notre expérience personnelle nous a appris qu'un PGD devrait aussi avoir des compétences commerciales et développer des arguments pédagogiquement parlant afin de faire adhérer les nouveaux utilisateurs (primaires et secondaires) à ces dispositifs innovants. En effet, encore quelques réticences subsistent chez des personnes qui perçoivent la formation comme une pratique orientée vers l'obtention d'une maîtrise des procédures, et qui adoptent une approche directive et transmissive. Nous avons vu au chapitre 7.2.3 que, dans le contexte des entreprises, LabQuest est souvent utilisé comme support de formation afin d'animer un groupe d'opérateurs à l'échange dans l'objectif d'harmoniser leurs pratiques, de construire un sens commun à leur travail et d'identifier les éventuels points de faiblesse des uns et des autres membres du personnel. Cette démarche de vulgarisation de l'approche pédagogique inversée commence à offrir ses fruits : la preuve en est que le SG LabQuest a été inclus dans le plan des formations universitaires des préparateurs, des pharmaciens et des managers du médicament⁵⁶.

9.2. L'articulation des paradigmes théoriques dans la vérification des hypothèses

Lors de la discussion des résultats nous avons pu vérifier les deux grandes hypothèses concernant, d'une part, la meilleure efficacité de LabQuest pour le développement des compétences professionnelles et, de l'autre, le processus d'acquisition des artefacts dans le dispositif. Il est maintenant nécessaire de rendre plus explicite le rôle des approches théoriques utilisées et de rendre compte de leur opérationnalisation lors de la conception du SG.

La théorie du conflit instrumental révèle une double nature d'utilisation au sein de tout le processus de conception et de test du dispositif conçu. Elle a permis, d'un un premier temps, de

⁵⁶ Les expérimentations *in vivo* ont été réalisées pour tester la pertinence du produit

clarifier les rôles des artefacts symboliques et matériels (emprunté à la théorie de la genèse instrumentale de Rabardel) qui ont été pris en considération lors d'une situation d'enseignement-apprentissage, ainsi que les processus d'instrumentalisation-instrumentation qui ont rendu possible l'apprentissage. Cette catégorisation des artefacts techniques, pédagogiques et didactiques souligne la complexité des situations d'apprentissage et met un accent particulier sur l'importance de l'ingénierie pédagogique afin d'éviter les situations d'échec, souvent observées lorsque les technologies numériques sont intégrées dans les dispositifs. De ce fait, la théorie du conflit instrumental se présente, tout au long de la conception, comme un *memorandum*, qui alerte le concepteur sur l'importance de veiller à une adaptation optimale des artefacts au sein du système. Dans un second temps nous avons vu le modèle de l'adaptation instrumentale servir d'outil d'analyse du processus d'acquisition des artefacts. Plus précisément, il a été utilisé pour codifier et tracer le parcours d'apprentissage réalisé par les apprenants qui avaient été filmés avec leur consentement de façon à comprendre quelles difficultés et problématiques ils seraient susceptibles de rencontrer. En effet, en conformité avec les performances observées lors du post-test, l'observation de l'activité des apprenants pendant l'exploration du SG tracée à l'aide de la PNA, montre qu'effectivement aucun conflit instrumental n'a été à l'origine de l'échec de l'apprentissage. Cette observation met toutefois en évidence l'exigence de prendre en considération les améliorations des artefacts techniques. Le modèle théorique de l'adaptation instrumentale, qui a trouvé toute son utilité pour la confirmation des hypothèses relatives au SG LabQuest, mériterait d'être employé pour l'analyse d'autres dispositifs d'apprentissages (pas exclusivement numériques) afin de prouver son efficacité et sa pertinence.

Pour la première fois de sa conceptualisation (en occasion de l'HDR de Marquet, soutenue en 2003) la théorie du conflit instrumental trouve, non seulement une preuve de l'intérêt de son concept, mais aussi – et surtout – une rectification importante ainsi qu'un complément. Plus spécifiquement, nous avons critiqué sa limitation aux situations d'apprentissage médiés par les technologies numériques et avons mis en évidence la double nature des artefacts techniques qui peuvent être opaques ou transparents. De la même manière, nous avons décrit – et prouvé – les parcours d'acquisition des artefacts et nous avons offerts des schémas visuels traduisant la pondération du poids des connexions entre les situations d'acquisition et de conflit des artefacts. Nous avons également montré que ce processus a une progression spiralaire et cyclique, comme nous l'avions annoncé dans nos hypothèses. Dans ce même modèle de l'adaptation instrumentale une proposition a été avancée sur la question de savoir comment le processus d'apprentissage peut rendre compte du processus de genèse instrumentale ? A cet égard, nous avons soutenu qu'une genèse instrumentale est réalisée par l'apprenant lors d'un apprentissage fructueux de la matière (d'apprentissage). L'apprenant acquiert une connaissance

des artefacts, ces derniers sont intégrés dans son système de référence, il s'est donc construit une représentation de leur fonctionnement. En d'autres termes, ces artefacts sont devenus des instruments pour l'apprenant qui maintenant est en mesure de les manipuler afin d'accéder à la situation d'apprentissage et d'en tirer profit, sans s'embattre dans des conflits qui rendraient l'apprentissage ostique, voire impossible. A ce titre nous pouvons affirmer que dans notre modèle une genèse instrumentale est observable lorsque les connexions des nœuds représentés par le triangle interne du schéma tracé par la PNA sont plus importantes que celles des connexions impliquant les nœuds appartenant au triangle externe. Il s'agit toutefois d'une hypothèse – fort probable – mais qui ne peut pas être confirmée univoquement, s'agissant d'une première et seule mise en pratique de la méthodologie développée. Nous affirmons cependant la grande potentialité de cette méthode ainsi que les avantages qui pourraient en dériver en termes de compréhension du processus d'appropriation de l'apprentissage et d'optimisation des artefacts qui la compose.

La théorie de l'activité, et plus précisément la méthode d'analyse de l'activité de travail issue de la didactique professionnelle, représente le deuxième pilier sur lequel s'appuie la conception de LabQuest. Comme nous l'avons déjà argumenté, PEGADE est un modèle participatif et centré sur l'utilisateur et pour cela, nécessite des approches capables de réaliser un diagnostic pointu des objets qui doivent intégrer l'apprentissage en vue du développement des compétences. Avec l'analyse de l'activité nous avons pu nous focaliser sur le travail réalisé par l'opérateur qui est le résultat des normes, des consignes, des représentations relatives aux tâches qui doivent être exécutées pendant le travail, ainsi que des contraintes liées aux spécificités contextuelles et environnementales de cette profession. Nous affirmons la possibilité d'adopter cette approche pour toute formation, et non seulement sous la forme de SG, qui vise au développement des compétences. Le modèle PEGADE a trouvé son opérationnalisation et, dans un certains sens, sa preuve de concept, en occasion des cours de SG design qui ont été réalisés à l'ENSIIE (École Nationale Supérieure d'Informatique pour l'Industrie et l'Entreprise) dans le cadre de notre mission d'enseignement. Trois prototypes de SG ont été abouti par des petites équipes de 4 à 5 personnes : le premier SG était destiné à l'apprentissage des modalités d'évacuation en cas d'incendie, le deuxième consistait en un simulateur de plongée et le troisième visait à l'apprentissage du solfège pour un très jeune public. Dans les trois cas, cette approche a prouvé sa pertinence dans l'identification des objectifs d'apprentissage qui soient les mieux adaptés à être intégrés dans le dispositif concerné.

Bien que nous soutenions l'importance et la nécessité de poursuivre des travaux de recherche pour confirmer de façon univoque la pertinence de cette démarche de conception universelle des SG, nous pensons avoir atteint un acceptable niveau d'approfondissement de

cette problématique dans le cadre de notre thèse. Toutefois, encore quelques points critiques et des questions ouvertes méritent d'être exposés pour donner un peu de matière à d'éventuelles futures recherches. C'est ce que nous allons entreprendre dans la partie suivante.

9.3. Points critiques et de développement

9.3.1. Le PGD : Quelle formation ?

Cette recherche, ainsi que notre expérience de travail en entreprise, nous ont fait prendre conscience d'une réalité très sensible, celle d'une fragmentation et d'une hyperspécialisation professionnelles qui conduisent souvent un groupe de travail à une difficulté de communication et à une diffusion de responsabilité. Sans vouloir forcément faire appel à des super-héros, la tendance serait celle de privilégier l'emploi d'une seule personne qui intègre, au sein de ses compétences, des savoir-faire plus transversaux. Cette tendance n'a pas seulement une répercussion sur les dépenses économiques de l'entreprise ou de l'institution dans laquelle la personne est employée, mais aussi et surtout des enjeux positifs en termes d'efficacité de conception du produit. A cet égard, nous avons vu comment la fragmentation des métiers dans le cadre de la conception des SGs peut avoir comme répercussion en matière d'inefficacité du SG lui-même en raison de l'hétérogénéité et de la distance que la partie « jeu » par rapport à la partie « apprentissage ». Nous avons, à ce titre, argumenté la pertinence de faire appel à un PGD pour la conception d'un SG et, notamment, à ses connaissances relatives non seulement à en matière d'apprentissage et dans le domaine des sciences cognitives, mais aussi aux techniques de scénarisation, de *gamification*, de scénarisation motivationnelles *etc.* La formation d'un PGD est, à cet égard, une problématique intéressante à creuser afin de comprendre quelles sont les compétences qui doivent être développées par l'étudiant qui voudra atteindre cet objectif professionnel. De nos jours, les premières formations de SG *designer* commencent à apparaître dans le panorama international⁵⁷. Après un parcours de formation en informatique, les étudiants sont souvent formés aux techniques de *game design*, et notamment, initiés aux technologies les plus performantes pour la réalisation graphique et tridimensionnelle des environnements virtuels. Dans les meilleurs des cas une formation sur les théories de l'apprentissage leur est proposée, ainsi que les outils destinés à leur permettre de développer une *gamification* efficace

⁵⁷ VFS game design

[http://vfs.edu/landing/game/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_term=Game%20school&utm_content=95163927508&utm_campaign=FR_-_Game_Design_\(S\)&gclid=CjwKEAjwtC9BRDRvMfD2N66nIISJACq85919WSic69E41KhY_WnWNF4_bX2woWiU2tbXXgI9N2BBoCy2rw_wcB](http://vfs.edu/landing/game/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_term=Game%20school&utm_content=95163927508&utm_campaign=FR_-_Game_Design_(S)&gclid=CjwKEAjwtC9BRDRvMfD2N66nIISJACq85919WSic69E41KhY_WnWNF4_bX2woWiU2tbXXgI9N2BBoCy2rw_wcB)

<http://summerschool.tlu.ee/design-of-serious-games/>
IFP <http://www.serious-game.fr/ifp-school-inclut-lutilisation-de-serious-games-dans-les-mooc/>

Ludus Academy

ENSIIE (Ecole Nationale Supérieure Informatique pour l'Industrie et l'Entreprise

auxquels viennent s'ajouter des notions d'ergonomie. Ces notions sont toutefois abordées de façon très superficielle compte tenu du fait qu'en toute circonstance, la meilleure conception des SG sera réalisée par un expert du domaine qui est en capacité de déclarer univoquement ses besoins de formation. Mais ceci n'est en réalité pas le cas. C'est pourquoi nous affirmons que le PGD devrait être la figure professionnelle porteur de l'ensemble du projet. Sans être forcément un expert du développement informatique, il devrait être à la fois compétent en matière d'apprentissage - avec des solides bases en psychologie cognitive – des mécanismes de jeu motivantes, d'ergonomie et posséder une vision claire des possibilités techniques qui peuvent être employées termes de réalisation dans le cadre d'une scénarisation. Le PGD devrait être en mesure d'employer ces stratégies de façon pertinence afin de réaliser la meilleure ingénierie pédagogique en matière de scénarisation. Nous souhaitons, une nouvelle fois, rappeler que le recours à un PGD n'exclut pas le recours à d'autres figures professionnelles ayant un profil plus « artistique », mais notre proposition tient compte de la situation économique actuelle et notamment des petites *start-up* qui, ayant des compétences de développement, se lancent dans la réalisation des SG sans se préoccuper des enjeux liés à leur efficacité pédagogique. En fait, l'indentification du besoin et des objectifs de l'apprentissage c'est un aspect qui échappe souvent aux mêmes experts ne peuvent pas changer de point de vue pour se mettre à la place, par exemple, des personnes auxquelles l'apprentissage est destiné.

Nous ne souhaitons pas, dans le cadre de cette thèse, réaliser une maquette d'un parcours universitaire présentant toutes les disciplines qui doivent être prises en compte pour la formation d'un PGD. Nous tenons néanmoins à souligner que des formations de cet ordre commencent à être proposées par les écoles d'ingénieurs, notamment par l'ENSIIE (Ecole Nationale Supérieure pour l'Industrie et l'Entreprise) située à Strasbourg.

9.3.2. Les apprentissages directifs (ou enseignements programmés) au sein d'un SG ?

Un phénomène qui s'est révélé lors de cette étude et auquel nous avons tenté de donner une explication, est celui de l'exercice de la substitution de la boîte de Pétri lors des tests d'efficacité (*cf* chapitre 7.2.2.3) qui, à la différence de l'autre exercice de nettoyage des surfaces, ne donnait pas l'avantage à l'une ou à l'autre modalité de formation en termes d'apprentissage (LabQuest ou traditionnel) et concernait donc la mémorisation de la procédure à réaliser. Nous avons discuté ce résultat au point de décider d'entreprendre une observation complémentaire afin de comprendre les raisons pour lesquelles cet exercice directif donnait des résultats identiques avec les formation LabQuest et traditionnelle, sans distinction. A cet égard les explications que nous avons apportées ont été confirmées par la littérature scientifique plus récente (Mayer, 2014). Malgré cela, nous ne pouvons pas considérer que nos explications

puissent avoir un caractère définitif. Tout au contraire, nous souhaiterions approfondir la pertinence de la nature des exercices proposés dans des dispositifs de simulation pour mieux comprendre quelles pourraient être les stratégies les plus adaptées en matière d'apprentissage.

9.3.3. La *Process Network Analysis* (PNA) comme nouveau test d'utilisabilité ?

L'un des apports de notre travail de thèse a été l'opérationnalisation de la théorie du conflit instrumental et, plus précisément, notre contribution à l'évolution du modèle de l'adaptation instrumentale. Ce modèle a prouvé sa pertinence et a fourni les indications nécessaires pour permettre une nouvelle méthodologie d'analyse de l'utilisabilité adaptée en particulier aux situations d'apprentissage, qui trouve également tout son intérêt pour la mise en évidence des conflits instrumentaux qui peuvent survenir dans celles qui sont médiées par les technologies numériques. L'avantage porté par ce modèle réside dans la catégorisation préalable de ce que l'on entend par artefacts techniques, pédagogiques et didactiques. Cette classification est en effet vitale pour identifier quels artefacts sont affectés de quel type de problèmes mais aussi à quel moment de l'exploration. Toutefois pour le moment nous souhaiterions considérer avec précaution l'affirmation d'une efficacité incontestable de ce nouveau l'utilisabilité. Des recherches futures devraient donc permettre d'approfondir ses applications et les tester sur d'autres dispositifs d'apprentissage pour mieux en vérifier leurs réelles potentialités.

9.3.4. Place de la verbalisation ? Apprentissage ? SG ?

Lors de l'analyse des activités que les sujets ont réalisées pendant l'exploration du SG nous avons remarqué le phénomène de la verbalisation à voix haute, que nous avons naïvement attribué à un processus de résolution de problèmes. Une analyse exploratoire du contenu de ces verbalisations nous a permis de leur attribuer au moins cinq buts (1° résolution de problèmes à voix haute, 2° verbalisation des émotions primaires, 3° communication indirecte avec le chercheur, 4° communication directe avec le chercheur, 5° lecture à voix haute des textes). Nous avons ainsi jugé utile d'entreprendre une analyse un peu plus approfondie afin de comprendre quelles étaient les raisons de ces verbalisations et si elles étaient corrélées les unes par rapport aux autres. Les résultats de cette analyse ont été longuement discutés dans la partie dédiée. Nous soulignons, cependant une nouvelle fois, la nécessité de réaliser des observations supplémentaires sur des situations analogues de façon à comprendre comment ces verbalisations pourraient être exploitées en vue d'une amélioration du processus d'apprentissage, en prenant évidemment appui sur la littérature de référence dans ce domaine notamment, en ce qui concerne les phénomènes de verbalisation ainsi que des stratégies de

*coping*⁵⁸ qui sont engagées lors de l'activité de l'utilisateur dans des environnements simulés. À ce titre, il serait intéressant de comprendre quelles stratégies pédagogiques sont adaptées à quels objectifs d'apprentissages ou encore de comprendre quelles sont les implications des tel verbalisations à un niveau cognitif.

9.3.5. Quelle définition de LabQuest

L'un des points que suscite enfin ce travail est celui de la façon dont nous pouvons définir LabQuest. S'agit-il vraiment d'un SG ou conviendrait-il mieux parler de simulateur ? Existe-t-il une définition univoque de *serious game* ? Et quelle différence y retrouvons-nous par rapport aux pures simulations ? Pour répondre à cette question et pour essayer de clarifier notre point de vue et justifier notre position lorsqu'on définit LabQuest comme un SG, nous nous appuyons sur un article de Lelardeux et collègues (Lelardeux *et al.*, 2012). Ces auteurs, en effet, réalisent un état de l'art des SG, *serious play* et des simulateurs disponibles dans le secteur de la santé et ils en soulignent les caractéristiques qui font qu'elles sont considérées comme faisant partie de l'une et de l'autre catégories posées par ces auteurs et dont s'inspire le tableau 88 ci-dessous.

		Serious Game	Serious Play	Simulateur
Caractéristiques				
1	Permet de diffuser un message	X	X	X
2	Permet de dispenser un entraînement	X	X	X
3	Permet la collecte des données	X	X	X
Objectifs				
4	Propose des objectifs à atteindre	X		
5	Permet à un instructeur de poser des objectifs		X	X
6	Juge si les objectifs proposés sont atteints	X		
Usages				
7	Invite à adopter une posture ludique	X	X	
8	Son utilisation nécessite la présence d'un instructeur/formateur ou un haut niveau d'expérience de l'utilisateur			X
9	Peut s'utiliser en autonomie	X	X	
Représentations				
10	Peut reproduire avec fidélité le réel	X	X	X
11	Peut convoquer un modèle imaginaire	X	X	
12	Peut convoquer une métaphore	X	X	
Public cible				
13	S'adresse à un public averti	X	X	X
14	S'adresse au grand public	X	X	

Tableau 88 : Les caractéristiques de Serious Games, Serious Play et Simulateurs, tiré de Lelardeux et al. 2012

De cette catégorisation nous en tirons les conclusions que les différences principales entre SGs et simulateurs sont 1° dans la fixation des objectifs à atteindre, qui sont déclarés dans les SGs et sous-tendues dans les simulateurs ; 2° l'accompagnement des apprenants durant l'exploration du dispositif qui est nécessaire dans le cas des simulateurs et qui n'est pas

⁵⁸ Réaction à un stimulus souvent en situation de stress

demandée pour les SG. En effet, dans ces derniers, les apprenants peuvent être des débutants dans la matière alors que dans les cas des simulateurs l'apprenant doit avoir déjà un bon niveau de connaissance des principes et des procédures à employer qui peuvent, de ce fait, être entraînées en vue du perfectionnement des gestes. Contrairement aux SGs, les simulateurs n'ont comme objectif que de reproduire un comportement fidèle à la réalité et, dans cet optique, il ne s'adressent, essentiellement, qu'à un public d'experts. A l'inverse, le Serious Game, en intégrant un scénario pédagogique qui sous-tend des objectifs, des contraintes et des moyens associés, offre la possibilité de s'affranchir le cas échéant de la présence d'une relation tierce (Lelardeux *et al.*, 2012).

Une attention particulière doit être prêtée au concept de « divertissement » qui est l'un des requis fondamentaux à l'origine du concept de SG en lui-même. Les stratégies de *gamification* employées pour rendre ludique un SG peuvent être observée dans les dispositifs de type SG, jeux vidéos et e-learning à travers les stratégies de jeux et de scénarisation qui rendent attractive et addictive la formation. Pour donner quelques exemples, les jauges de vie, les systèmes de récompenses et de punitions, de score ou de classifications. Conscients de la puissance de l'emploi de ces stratégies, nous avons essayé de les intégrer dans le premier prototype de LabQuest en vue de la présentation de ses fonctionnalités aux clients potentiels (selon l'optique de la UX). Ces derniers n'ont pas accueilli positivement le côté « *trop ludique* » car, « *vous savez, la production pharmaceutique n'est pas un jeu. On risque de dé-responsabiliser nos opérateurs* » récitent certains. Les stratégies de *gamification* ont donc été redimensionnées : elles comportaient notamment l'explication en début de partie des missions à accomplir, les animations concernant l'utilisation des objets, des objets de décor comme les miroirs, les sons et enfin le système de score en fonction de la manière dont les différentes séquences du logiciel sont enchaînées. De plus, la scénarisation même des contenus pédagogiques à retenir lors de l'apprentissage résultant d'un effort de vulgarisation de concepts d'ordre théorique et de l'invisible, ont contribué à l'installation du plaisir de l'apprenant au sein du SG.

Quelle est donc la place de la perception hédonique de l'utilisateur-apprenant lors de l'utilisation d'un SG ? Est-il possible de mesurer de façon univoque le degré de ludification d'un SG ? A ce propos nous affirmons que, selon les expériences réalisées *in vivo*, c'est-à-dire à travers l'expérimentation le LabQuest dans les usines, le niveaux de *gamification* d'un dispositif pouvant varier selon l'expérience personnelle et le système de référence de la personne qui se trouve à vivre la situation d'apprentissage. Dans le cas spécifique des opérateurs des entreprises pharmaceutiques, la liberté donnée de pouvoir s'auto-administrer les contenus pédagogiques, d'une part, et d'expérimenter la résolution de problèmes dans un environnement virtuel, de l'autre, a contribué à rendre plus importante leur perception du SG. Ce qui a eu, notamment une

influence positive sur l'apprentissage. Dans le cas spécifique de LabQuest nous avons constaté que les sujets apprenaient beaucoup plus d'informations de celles qui leur avaient été demandées : ceci pourrait être l'indice d'un effet motivationnel. Toutefois, les stratégies de *gamification* intégrées dans le logiciel ne peuvent pas être considérées comme des facteurs impactant le degré de divertissement ressenti par ces personnes. La scénarisation des miroirs, les visuels qui accompagnent la présentation des contenus pédagogiques et la façon dont les visuels sont réalisés, le fait que –pour une fois – l'opérateur peut réaliser « tout ce qu'il veut » à l'intérieur du simulateur, à la différence de sa pratique quotidienne, ainsi que la possibilité de battre son propre score, sont toutes des stratégies de *gamification* intégrées dans l'univers LabQuest. Aussi, les raisons pour lesquelles nous avons choisi de limiter les stratégies de *gamification* sont à imputer à la cible des utilisateurs primaires et secondaires destinataires du logiciel : les responsables hiérarchiques et le personnel dirigeant qui ont considéré très approprié de ne pas « exagérer » avec les éléments de *gamification* car jugeant indispensable de pouvoir traiter les sujets de manière « sérieuse » et réaliste. Il convient cependant aussi de relativiser le concept de *gamification* vis-à-vis de la perception que les utilisateurs ont du terme « divertissant ». En effet, lors des situations d'expérimentation *in vivo* de la formation qui a été conduite dans les entreprises et les cursus universitaires, les personnels de production ainsi que les étudiants déclaraient avoir bien apprécié l'approche proposée et soutenaient qu'ils auraient bien souhaité de poursuivre la durée d'utilisation du SG. Le débat à ce propos reste donc largement ouvert.

A cet égard, notre but n'est pas de définir de façon univoque le SG/simulateur LabQuest, mais plutôt d'affirmer la pertinence et l'efficacité du modèle de conception PEGADE qui peut être appliqué pour la réalisation des simulateurs, SGs, aussi bien que pour les jeux éducatifs numériques. C'est à ce niveau justement que se situe l'objet de nos perspectives futures de recherche. Dans la partie de cette discussion que nous avons consacrée aux développements futurs, toutes les questions ouvertes et les résultats énigmatiques de notre travail ont été évoqués. C'est à l'approfondissement de ces questions que nos recherches futures seront consacrées. Plus précisément, nous aimerions appliquer les deux modèles principaux issus de cette thèse, à savoir le modèle de l'adaptation instrumentale, la méthode d'analyse de l'utilisabilité, qui dérive de l'opérationnalisation de cette dernière pour le suivi du processus d'apprentissage, et de PEGADE. Ce dernier modèle de conception de SG a déjà son application fructueuse chez les étudiants de l'ENSIIE et nous envisageons d'aller dans ce sens afin d'apporter notre contribution en matière de conception de SGs.

Bibliographie

- Alvarez, J., & Djaouti, D. (2012). *Introduction au serious game / serious game : an introduction* (2e Revue et augmentée). Paris: Questions Théoriques.
- Alvarez, J., Rampnoux, O., Jessel, J-P., & Methel, G. (2007). *Serious game: Just a question of posture?* artificial and ambient intelligence convention (artificial societies for ambient intelligence) - AISB (ASAMi) 2007, pp 420-426, UK, University of Newcastle.
- Alvarez, J., & Michaud, L. (2008). *Serious games : Advergaming, edugaming, training and more*. IDATE July 2008.
- Anderson L. W., & Krathwohl, D. R. (eds.) (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. New York: Longman, pp 67-68
- Anderson, J. R. (1980). *Cognitive psychology and its implications*. San Francisco: Freeman.
- Annett, J. (1996). *Recent developments in hierarchical task analysis*. In: S.A. Robertson (ed.) *Contemporary Ergonomics*. Taylor & Francis, London, pp. 263- 268.
- Annetta, L. A. (2010). *The "I's" have it: A framework for serious educational game design*. Review of General Psychology, 14(2), pp. 105–112. <http://doi.org/10.1037/a0018985>
- Artigue, M. (2002). *Quelques leçons des ingénieries didactiques*. In D. Guin et L. Trouche (dir.), *Calculatrices symboliques : transformer un outil en un instrument du travail mathématique : un problème didactique*, Grenoble : La Pensée Sauvage, pp. 277-349.
- Baccino, T. Bellino, C., & Colombi, T. (2005). *Mesure de l'utilisabilité des interfaces*. Paris: Hermes.
- Bacim F., Polys N., Chen J., Setareh M., Li J., & Ma L. (2010). *Cognitive scaffolding in web3D learning systems: a case study for form and structure*. *Web3D, page 93-100*. ACM. New York, NY, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/1836049.1836063>
- Baddeley, D., & Hitch, G. (1974). *Working memory*. Vol. 2, Academic Press, 1974, pp. 47–89 (ISBN 978-0-12-543308-2, OCLC 777285348, DOI 10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Baranowski, T., & Buday, R. (2008). *Playing for real: video games and stories for health-related behavior change*. *American Journal of Preventive Medicine*, 34(1), pp. 74–82. <http://doi.org/10.1016/j.amepre.2007.09.027>
- Barbosa, A. F. S., Pereira, P. N. M., Dias, J. A. F. F., & Silva, F. G. M. (2014). *A new methodology of design and development of serious games*. Hindawi Publishing Corporation International Journal of Computer Games Technology Volume 2014, Article ID 817167. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/817167>
- Béguin, P., & Rabardel, P. (2000). *Designing for instrument-mediated activity*. *Scandinavian Journal of Information Systems*, 12(1). Retrieved from <http://aisel.aisnet.org/sjis/vol12/iss1/1>
- Bellotti, F., Berta, R. De Gloria, A., & Primavera, L. (2010). *Adaptive experience engine for serious games*. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*. January 2010

- Bellotti, F., Berta, R., De Gloria, A., D'Ursi, A., & Fiore, V. (2012). *A serious game model for cultural heritage*. ACM J. Comput. Cult. Herit. 5, 4, Article 17 (October 2012), 27 pages. DOI = 10.1145/2399180.2399185 <http://doi.acm.org/10.1145/2399180.2399185>
- Bergeron, B. (2006). *Developing serious games*. USA, Charles River Media.
- Bevan, N. (2008). *UX, usability and ISO standards*. The 26th Annual CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1–5. Retrieved from http://www.cs.tut.fi/ihte/CHI08_workshop/slides/Bevan_UXEM_slides.pdf
- Bloom, B.S. (Ed.). Engelhart, M.D., Furst, E.J., Hill, W.H., & Krathwohl, D.R. (1956). *Taxonomy of educational objectives*. Handbook I: The Cognitive Domain. New York: David McKay Co Inc.
- Bloom, B.S., Hasting, J.T., & Madaus, G.F. (1971), *Handbook on formative and summative evaluation of student learning*. McGraw-Hill Book Co, New York.
- Boutin, G. (2004). *L'approche par compétences en éducation : un amalgame paradigmatique*. Connexions, n°81(1), pp. 25–41. <https://www.cairn.info/revue-connexions-2004-1-page-25.htm>
- Bruce, B. C., & Hogan, M. C. (1998). *The disappearance of technology: Toward an ecological model of literacy*. In D. Reinking, M. McKenna, L. Labbo, & R. Kieffer (Eds.), *Handbook of literacy and technology: Transformations in a post-typographic world*, pp. 269–281. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Bruillard, É. (1997). *Les machines à enseigner*. Éditions Hermès, Paris
- Carpentier, K., & Lourdeaux, D. (2013). *Sélection dynamique de situations d'apprentissage en environnement virtuel*. In EIAH 2013. Vol. 1, pp. 129–140. Toulouse, France. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00863602>
- Carré, P., & Caspar, P. (2011). *Traité des sciences et des techniques de la formation* - 3e édition. Dunod.
- Chambliss, M., & Calfee, R. (1998). *Textbooks for Learning: Nurturing Children's Minds* (1 edition). Malden, Mass: Wiley-Blackwell.
- Chauvigné, C., & Coulet J.-C., (2010). *L'approche par compétences : un nouveau paradigme pour la pédagogie universitaire ?* Revue française de pédagogie, 172 juillet-août-septembre 2010.
- Chen, L. C. (2010). *The impact of perceived risk, intangibility and consumer characteristics on online game playing*. Computers in Human Behavior, 26, pp. 1607–1613.
- Chen, S., & Micheal, D. (2005). *Serious games: games that educate, train and inform*. Thomason Course Technology.
- Chevallard, Y. (2012). *Des programmes, oui. Mais pour quoi faire ?* Vers une réforme fondamentale de l'enseignement. ADEF, Aix-Marseille Université.
- Chomsky, N. (1965). *Aspects of the theory of syntax*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Cizeron, M. (2010). *Le geste professionnel comme concept et outil d'analyse*. In M. Cizeron et N. Gal- Petitfaux. *Analyse des pratiques : expérience et gestes professionnels*. Presses de l'université Blaise Pascal, pp. 257-268.
- Clark, J. M., & Paivio, A. (1991). *Dual coding theory and education*. Educational Psychology Review, 3(3), pp. 149-170.

- Clark, R., & Chopeta, L. (2004). *Graphics for learning : proven guidelines for planning, designing, and evaluating visuals in training materials*. San Francisco: Jossey-Bass/Pfeiffer.
- Clot, Y. (1999). *La compétence en cours d'activité*. Éducation Permanente, 123/1995-2, pp. 115-123.
- Clot, Y., & Fernandez, G. (2005). *Analyse psychologique du mouvement : apport à la compréhension des TMS*. @ctivités, 2 (2), pp. 69-78.
<http://www.activites.org/v2n2/fernandez.pdf>
- Connolly, T. M., Boyle, E. a., MacArthur, E., Hainey, T., & Boyle, J. M. (2012). *A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games*. Computers & Education, 59(2), pp. 661–686. <http://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.004>
- Cook, D.A., Hatala, R., Brydges, R., Zendejas, B., Szostek, J.H., Wang, A.T., Erwin, P.J., & Hamstra, S.J. (2011). *Technology- enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis*. JAMA. 2011; 306: pp. 978-988
- Cooper, A. & Reimann, R. (2003). *About Face 2.0: The Essentials of Interaction Design*. Wiley.
- Crowder, N. (1959). *Automatic tutoring by means of intrinsic programming*. In Galanter E.H. (ed) Automatic teaching: the state of the art. New York: Wiley, pp. 109–116.
- Csikszentmihályi, M. (1975). *Beyond boredom and anxiety*. San Francisco, CA, Jossey-Bass. 1e éd. (ISBN 978-0-87589-261-0)
- Dabbagh, N. (2005). *Pedagogical models for E-Learning: A theory-based design framework*. International Journal of Technology in Teaching and Learning, pp. 25–44.
- De Jong, T. (2011). *Instruction Based on Computer Simulations*. In Mayer R. E. & Alexander P. A., (Eds.). Handbook of Research on Learning and Instruction. New York and London: Routledge, pp. 446-466.
- De Keyser V., & Nyssen A.-S. (1993). *Les erreurs humaines en anesthésie. Analyse cognitive du travail*. Le Travail humain, 56, 2-3, pp. 243-266.
- De Landsheere, V., & De Landsheer, G. (1984) *Définir les objectifs de l'éducation* (5° éd.)Paris. Presse Universitaire de France.
- De Landsherre, G., & De Landsherre, V. (1976). *Définir les objectifs de l'éducation*. Paris. Presse Universitaire de France.
- Delignières, D. (2004). *Difficulté de la tâche et performance*. In J. La Rue & H. Ripoll (Eds), Manuel de Psychologie du Sport, tome 1, pp. 85-112. Paris: Editions Revue EPS
- Denami, M. (2016). *Simulation: A powerful tool for training professional skills in cleanrooms*. Pharmaceutical Technology in Hospital Pharmacy, 1(1), pp. 45–53.
<http://doi.org/10.1515/pthp-2015-0003>
- Denami, M., & Marquet, P. (2015). *Un simulateur pour l'évaluation et la formation des compétences professionnelles des opérateurs en zone aseptique*. Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain 2015, ATIEF. Agadir 3–5 June 2015.
- Despont, A. (2008). *Serious games et intention sérieuse : typologie*. Retrieved March 8, 2009 from <http://www.elearning-symetrix.fr/blog/index.php?post/2008/02/15/Serious-Games-et-intention-serieuse-%3A-typologie>

- Djaouti, D., Alvarez, J., Jessel, J.P. & Felicia, P. (Ed.). (2011). *Classifying Serious Games: the G/P/S model*. Handbook of Research on Improving Learning and Motivation through Educational Games: Multidisciplinary Approaches. IGI Global. Retrieved from <http://services.igi-global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/978-1-60960-495-0>
- Dondlinger, M.J. (2007). *Educational video game design: A review of the literature*. Journal of Applied Educational Technology, vol. 4, n°1, pp. 21-31.
- Doran, M. V., Shelley-Tremblay J., Coleman, R. L., & McLaughlin, B. (2012). *Enhanced creativity and problem solving: An interdisciplinary approach*. Conference: Systemics, Cybernetics and Informatics Retrieved from 2012, July 13.
<https://wmsci2012.wordpress.com/2012/07/13/enhanced-creativity-and-problem-solving-an-interdisciplinary-approach/>
- Duval, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine*. Éditions Peter Lang, coll. Exploration, recherches en sciences de l'éducation. Berne, Suisse.
- Engeström, Y. (1999). *Innovative learning in work teams: Analyzing cycles of knowledge creation in practice*. In Y. Engestrom, R. Miettinen and R.-L. Punamaki (eds.) Perspectives on Activity Theory, Cambridge. Cambridge University Press, pp. 377-404.
- Famose, J.P. (1990). *Apprentissage moteur et difficulté de la tâche*. Paris: INSEP.
- Famose, J.P. (1993). *La performance motrice: un essai de définition*. In J.P. Famose. (Ed.), Cognition et performance, pp. 21-42. Paris: INSEP Publications.
- Fredrickson, B. L. (2001). *The role of positive emotions in positive psychology*. American Psychologist, 56(3).
- Garrett, J. J. (2010). *Elements of user experience, the: user-centered design for the web and beyond*. (Pearson Ed). Pearson Education.
- Gaussot, L. (2002). *Le jeu de l'enfant et la construction sociale de la réalité*. Spirale, vol. 24, n°4, pp. 39.
- Gillet, P. (1991). *Construire la formation: outils pour les enseignants et les formateurs*. Paris : Editions sociales françaises.
- Girard, C. Ecalte, J., & Magnan, A. (2013). *Serious games as new educational tools: how effective are they? A meta-analysis of recent studies* Journal of Computer Assisted Learning, 29 (3) (2013), pp. 207–219.
- Good Manufacturing Practices (Eudralex-volume 4
http://ec.europa.eu/health/documents/eudralex/vol-4/index_en.htm)
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2003). *Action video game modifies visual selective attention*. Nature Vol. 423. doi: 10.1038/nature01647
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2006a). *Effect of action video games on the spatial distribution of visuospatial attention*. Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance, 32(6), 1465–78. doi:10.1037/0096-1523.32.6.1465
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2006b). *Enumeration versus multiple object tracking: The case of action video game players*. Cognition, 101, pp. 217–245.
doi:10.1016/j.cognition.2005.10.004

- Gueraud, V., Pernin, J.-P., Cagnat, J.-M., & Cortes, G. (1999). *Environnements d'apprentissage basés sur la simulation: Outils auteur et expérimentations*. Sciences et Techniques Éducatives, 6(1), pp. 95–141.
- Hamdi-Kidar, L., & Maubisson, L. (2012). *Les chemins d'accès à l'expérience de flow : le cas des jeux vidéo*. Management & Avenir 2012/8 (N° 58), pp. 120-143. DOI 10.3917/mav.058.0120
- Hamdi, L., & Maubisson, L. (2010). *Retour aux essences conceptuelles de l'immersion: Apports de l'analogie des environnements virtuels vs réels*. Actes du 27ème Congrès International de l'Association Française du Marketing, Bruxelles.
- Hameline, D. (1979). *Les objectifs pédagogiques*. Paris, ESF.
- Hartmann, T., & Klimmt, C. (2006). *Gender and computer games: Exploring females' dislikes*. Journal of Computer-Mediated Communication, 11, 910–931. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1083-6101.2006.00301.x>.
- Heinich, R., Molenda, M., & Russell, J. D. (1993) *Instructional Media and the New Technologies of Instruction* (4rd ed.) New York: Macmillan.
- Homer, B. D., Hayward, E. O., Frye, J., & Plass, J. L. (2012). *Gender and player characteristics in video game play of preadolescents*. Computers in Human Behavior (advance online publication).
- Iuppa, N., & Borst, T. (2009). *End-to-end game development: creating independent serious games and simulations from start to finish* (1 edition). Burlington, MA: Focal Press.
- Jean, A., (2008). *Peut-on évaluer des compétences au travers des gestes professionnels?* Actes du 20e colloque de l'ADMEE-Europe, Université de Genève.
- Johansson J., & Vahlne J-E. (1977). *The internationalization process of the firm - a model of knowledge development and increasing foreign market commitment*. Journal of International Business Studies, 8(2), pp 23–32.
- Jorro, A. (2002). *Ecrire en formation*. Les Cahiers de Pédagogie Expérimentale, pp 11-12.
- Kapralos, B., Haji, F., & Dubrowski, A. (2013). *A crash course on serious games design and assessment: A case study*. Games Innovation Conference (IGIC), 2013 IEEE International, pp. 105–109. <http://doi.org/10.1109/IGIC.2013.6659152>
- Karsenti, T., & Fievez, A. (2013). *L'iPad à l'école: usages, avantages et désavantages : résultats d'une enquête auprès de 6057 élèves et 302 enseignants du Québec (Canada)*. Montréal, QC : CRIFPE.
- Kirkle, S., Tomblin, S., & Kirkley, J. (2005). *Instructional design authoring support for the development of serious games and mixed reality training*. Education. 2005(2420), pp. 1–11.
- Klein, G. (2008). *Naturalistic decision making*. Human factors. Vol. 50, No. 3, June 2008, pp. 456–460.
- Koehler, M. J., & Mishra, P. (2009). *What is technological pedagogical content knowledge?* Contemporary Issues in Technology and Teacher Education, 9(1), pp. 60-70.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development* (Vol. 1). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

- Landriscina, F. (2009a). *La Simulazione nell'Apprendimento. Quando e come avvalersene*. Centro Studi Erickson. HOEPLI.it.
- Landriscina, F. (2009b). *Simulazione e apprendimento: il ruolo dei modelli mentali*. Journal of e-Learning and Knowledge Society, 5(2), pp. 23–32.
- Landriscina, F. (2013). *Simulation-Based Learning: questioni aperte e linee guida per un uso didatticamente efficace della simulazione*. Form@re, Open Journal per la formazione in rete Firenze University Press. Numero 2, Volume 13, 2013, pp. 68-76
<http://doi.org/10.13128/formare-13257>
- Lateef, F. (2010). *Simulation-based learning: Just like the real thing*. Journal of Emergencies, Trauma and Shock, 3(4), pp. 348–352. doi:10.4103/0974-2700.70743
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Le Boterf, G. (1999). *L'intelligence au travail*. In P. Carré & P. Caspar (Ed.). *Traité des Sciences et des Techniques de la formation*. Paris : Dunod
- Le Boterf, G. (2000). *De la compétence : essai sur un attracteur étrange*. Paris : Editions d'organisation.
- Lelardeux, C., Panzoli, D., Alvarez, J., Galaup, M., & Lagarrigue, P. (2012). *Serious game, simulateur, serious play : état de l'art pour la formation en santé*. LARSEN Proceedings.
- Léontiev A. N. (1976), *Le développement du psychisme*. Paris, Editions sociales.
- Leplat, J. (1985). *Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail*. Paris : A. Colin.
- Leplat, J. (2000). *L'analyse psychologique de l'activité en ergonomie*. Toulouse : Octares.
- Leplat, J. (2004). *L'analyse psychologique du travail revue européenne de psychologue appliquée*. 54, pp. 101–108.
- Leplat, J., & Hoc J.-M. (1983). *Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations*. Cahier de psychologie cognitive, 1983, 3,1, pp. 49-63.
- Lewis, C., & Wharton, C. (1997). *Cognitive walktroughs*. Handbook of Human-Computer Interaction, pp. 717–732.
- Marfisi-Schottman I., George, S., & Tarpin-Bernard, F. (2010). *Tools and methods for efficiently designing serious games*. 4th European Conference on Games Based Learning ECGBL 2010, (October), pp. 226–234.
- Marfisi-Schottman, I., George, S. (2010) *Environnement web multi-acteurs pour la conception de serious games*. Journée scientifique : Conception des EIAH à l'ère du Web 2.0 et à l'aube du 3.0. Jul 2010, Amiens, France. Pp.15 - 20, 2010. <hal-00494952>
- Marfisi-Schottman, I. (2012). *Méthodologie, modèles et outils pour la conception de Learning Games*. Thèse de doctorat. Soutenue le 28 novembre 2012.
- Marquet, P. (2003). *L'impact des TIC dans l'enseignement et la formation : mesures, modèles et méthodes - Contribution à l'évolution du paradigme comparatiste des usages de l'informatique en pédagogie*. HDR soutenue le 3 octobre 2003. ATIEF.

- Marquet, P. (2005). *Intérêt du concept de conflit instrumental pour la compréhension des usages des EIAH*. EIAH 2005 (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain), May 2005, Montpellier, France. INRP, pp.383-388. <hal-00340395>
- Marquet, P. (2011). *Obstacles to use ICTs in training and consequences for the development of e-learning and m-learning*. Education Knowledge and Economy 2011; 4. Pp. 183–192.
- Marquet, P., Coulibaly, B. (2007). *Le concept de conflit instrumental : Une hypothèse explicative des non-usages des TIC*. Dossiers de l'Ingénierie Educative, Hors série : TICE, l'usage en travaux, 61-69.
- Marquet, P., Coulibaly, B. (2011). *The concept of instrumental conflict: an application of the theory of activity to computer-supported teaching-learning situation*. In A. Méndez-Vilas (Ed.), Education in a technological world: communicating current and emerging research and technological efforts. Formatex, Badajoz, pp. 478-489.
- Marquet, P. (Éd.) (2012). *Les non-usages des TIC : modélisations, explications, remédiations*. Recherches & Educations, 7, n° thématique.
- Mayer, R. (Ed.). (2014). *The Cambridge handbook of multimedia learning* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press. Retrieved from <http://ebooks.cambridge.org/ref/id/CBO9781139547369>
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. Cambridge: University Press.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning*. Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2011). *Applying the science of learning*. Pearson/Allyn & Bacon.
- Mayhew, D. (1999). *The usability engineering lifecycle: a practitioner's handbook for user interface design*. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco.
- Michael, D., & Chen, S. (2006). *Serious games: Games that educate, train and inform*. Thomson Course Technology, Boston, MA. USA.
- Mitchell, A.C., & Savill-Smith, C. (2010). *The use of computer and video games for learning: A review of the literature*. Learning and skill development agency. Accessed from <https://crm.lsnlearning.org.uk/user/order.aspx?code=041529> on Oct. 29 2010.
- Molnar, A., Farrell, D., & Kostova, P. (2012). *Who Poisoned Hugh? - The STAR Framework: Integrating Learning Objectives with Storytelling*. In D. Oyarzun, F. Peinado, R. M. Young, A. Elizalde, & G. Méndez (Eds.), *Interactive Storytelling* (pp. 60–71). Springer Berlin Heidelberg. Retrieved from http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-34851-8_6
- Morcillo A, Lutz G, Amiel A, Camps J-F, Plégat-Soutjis F., & Tricot, A. (2003). *Utilité, utilisabilité, acceptabilité : interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH*. Presented at the Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain 2003, ATIEF INRP: pp. 391–402.
- Mumford, M. D., Medeiros, K. E., & Partlow, P. J. (2012). *Creative thinking: Processes, strategies, and knowledge*. The Journal of Creative Behavior, 46(1), pp. 30–47. <http://doi.org/10.1002/jocb.003>
- Musial, M., Pradère, F., & Tricot, A. (2012). *Comment concevoir un enseignement ?* Bruxelles : De Boeck.

- Newell, A., & Simon, H.A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ:Prentice- Hall, Inc.
- Nguyen, D.Q., & Blais J.-G. (2007). *Approche par objectifs ou approche par compétences ? Repères conceptuels et implications pour les activités d'enseignement, d'apprentissage et d'évaluation au cours de la formation clinique. Objective-based or competence-based approach: conceptual frameworks and implications for teaching and learning activities and assessment during clinical training*. Revue internationale francophone d'éducation médicale. Pédagogie Médicale - Novembre 2007 - Volume 8 - Numéro 4, pp 232-251.
- Noël, C. (2005). *De la connaissance a la maitrise du risque : comment se construit la compétence du commissaire aux comptes ?* Comptabilité et Connaissances, May 2005, France. pp.CD-Rom. <halshs-00581252>
- Norme NF EN ISO 14644-4. July 2001
- Norme NF EN ISO 14644-5. December 2004
- Oei, A. C., & Patterson, M. D. (2013). *Enhancing cognition with video games: A multiple game training study*. PloS One, 8(3), e58546. doi:10.1371/journal.pone.0058546
- Ombredane, A., Faverge, J.-M. (1955). *L'analyse du travail*. Paris : PUF
- Papert, (2003)(interview). *Vingt-cinq années d'EIAH*. Entretien avec Seymour Papert, conférencier invité, menée par Alain Jaillet.
- Pastré, P. (2002). *L'analyse du travail en didactique professionnelle*. Revue Française de Pédagogie, n° 138, janvier-février-mars 2002, pp. 9-17.
- Pastré, P. (2005a). *La conception de situations didactiques à la lumière de la théorie de la conceptualisation dans l'action*. In P. Rabardel, & P. Pastré (Eds.), *Modèles du sujet pour la conception. Dialectiques activité développement*, pp. 73-107. Toulouse: Octarès.
- Pastré, P. (2005b) (Ed.). *Apprendre par la simulation. De l'analyse du travail aux apprentissages professionnels*. Toulouse: Octarès.
- Pastré, P., Parage, P., Richard, J.-F., Sander, E., Labat, J.-M., & Futersack, M. (2009). *La résolution de problèmes professionnels sur simulateur*. Activités, 06(1). <http://doi.org/10.4000/activites.2122>
- Pastré, P., Samurçay, R., & Plénacoste, P. (1998). *Analyse didactique des simulateurs de conduite dans la formation initiale*. (Rapport de recherche EDF-CNRS). Saint-Denis : Université Paris 8.
- Perrenoud, P. (2000). *L'approche par compétences, une réponse à l'échec scolaire ?* In AQPC Réussir au collégial. Actes du Colloque de l'association de pédagogie collégiale, Montréal, septembre 2000.
- Phillips, J. L. (1981). *Piaget's theory: A primer*. San Francisco, CA: W.H. Freeman
- Piaget, J. (1951). *Play, dreams, and imitation in childhood*. New York: W.W. Norton & Company
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1998). *La psychologie de l'enfant*. Que sais-je, PUF, Paris, 1ère édition en 1966.
- Rabardel P. (1995). *Les hommes et les technologies; approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin, pp.239, 1995. <hal-01017462>

- Rancière, R. (1987). *Le Maître ignorant : Cinq leçons sur l'émancipation intellectuelle*. Paris, Fayard.
- Reboul, O. (2010). *Qu'est-ce qu'apprendre*. PUF
- Rideout, V. J., Foehr, U. G., & Roberts, D. F. (2010). *Generation M2: Media in the lives of 8- to 18-year-olds*. Menlo Park, CA: Kaiser Family Foundation.
- Riva, G., Baños, R. M., Botella, C., Wiederhold, B. K., & Gaggioli, A. (2012). *Positive technology: using interactive technologies to promote positive functioning*. *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking*, 15(2), pp. 69–77. <http://doi.org/10.1089/cyber.2011.0139>
- Rivers, R. H., & Vockell, E. (1987). *Computer simulations to stimulate scientific problem solving*. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(5), pp. 403–415.
- Roegiers, X. (2001). *Une pédagogie de l'intégration : compétences et intégration des acquis dans l'enseignement (2ème éd.)*. Bruxelles : De Boeck.
- Rooney, P. (2012). *A theoretical Framework for Serious Game Design: Exploring Pedagogy, Play and Fidelity and their Implications for the Design Process*. *International Journal of Game-Based Learning*, 2(4), pp. 41-60, October-December 2012.
- Roto, V., Law, E., Vermeeren, A., & Hoonhout, J. (2010). *User experience white paper: bringing clarity to the concept of user experience*. Seminar on Demarcating User Experience, 12. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:USER+EXPERIENCE+WHITE+PAPER#0\http://www.allaboutux.org/uxwhitepaper>
- Samurçay, R. & Pastré, P. (2004) *Recherches en didactique professionnelle*. Toulouse : Octares
- Sawyer, B. & Smith, P. (2008). *Serious games taxonomy*. Serious Games Summit, San Francisco.
- Scallon, G. (2004). *L'évaluation des apprentissages dans une approche par compétence*. Québec : Éditions du Renouveau pédagogique.
- Schwartz, Y. (1997). *Reconnaissances du travail, pour une approche ergologique*. Octarès.
- Schwartz, Y. (2000). *Le paradigme ergologique ou le métier de philosophe*. Toulouse. Octarès.
- Seel, N. M. (2012). *Dynamic modeling and analogies*. In N. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning*. New York, NY: Springer, pp. 1051-1054.
- Sensevy, G. (2005). *Sur la notion de geste professionnel*. *Lettre de l'Association Internationale pour la Recherche en Didactique du Français*, 36(1), pp. 4-6.
- Shepherd, A. (2001). *Hierarchical task analysis*. New York: Taylor & Francis.
- Skinner, B. F. (1958). *Teaching machines new series*. *Science* Volume 128, Issue3330 (Oct.24, 1958). Pp. 969-977
- Spence, M., & Crick, D. (2004). *Acquiring relevant knowledge for foreign market entry: the role of overseas trade missions*. *Strategic Change*, 13(5), pp. 283–292. <http://doi.org/10.1002/jsc.692>
- Tardif, J. (1996). *L'entrée par la question de la formation des enseignants : le transfert des compétences à travers la formation de professionnels*. In : Meirieu P, Develay M, Durand C, Mariani, Y. (Dir.). *Le transfert des connaissances en formation initiale et continue*. Lyon : Centre régional de documentation pédagogique de l'Académie de Lyon, 1996, pp. 31-47.

- Tardif, J. (2006) *L'évaluation des compétences. Documenter le parcours de développement*. Montréal (QC) : Chenelière Éducation.
- Trestini, M. (2012). *Causes de non-usage des TICE à l'Université : des changements ?* Recherches & éducations, (6), pp. 15–33.
- Triberti, S. (2016). *This drives me nuts!* In D. Villani, P. Cipresso, A. Gaggioli, & G. Riva (Eds.), *Integrating Technology in Positive Psychology Practice*. pp. 266–289. IGI Global. <http://doi.org/10.4018/978-1-4666-9986-1.ch012>
- Triberti, S., Villani, D., & Riva, G. (2015). *Moral positioning in video games and its relation with dispositional traits: The emergence of a social dimension*. *Computers in Human Behavior*, 50, pp. 1–8. doi:10.1016/j.chb.2015.03.069
- Tricot, A. (1998). *Une présentation des travaux de John Sweller*. *Revue de Psychologie de l'Education*, 1, pp. 37–64.
- Tukey, J.W. (1980). *We need both exploratory and confirmatory author(s)*. *The American Statistician*. Vol. 34, (1), Feb., 1980, pp. 23-25. Published by: American Statistical Association Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/2682991>
- Vergnaud, G. (1985). *Concepts et schèmes dans une théorie opératoire de la représentation*. *Psychologie française*. N° 30, pp. 248-252.
- Viitanen, J. (2011). *Contextual inquiry method for user-centred clinical IT system design*. In *Studies in Health Technology and Informatics*. Vol. 169, pp. 965–969. <http://doi.org/10.3233/978-1-60750-806-9-965>
- Voorhees, R.A. (2001). *Competency based learning models: a necessary future*. In: Voorhees RA (éd): *Measuring what matters: competency-based learning models in Higher education*. San-Francisco: Jossey-Bass. *New directions for institutional research* 2001; (110), pp. 5-13.
- Vygotsky, L. (1978). *Interaction between Learning and Development*. *Mind and Society*. Cambridge, MA : Harvard University Press, pp. 79-91.
- Weaver, A. J., & Lewis, N. (2012). *Mirrored morality: An exploration of moral choice in video games*. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*. 120927061327007. <http://doi.org/10.1089/cyber.2012.0235>
- Zyda, M. (2005). *From visual simulation to virtual reality to games*. *IEEE Computer*. Vol. 38 (9) pp. 25-32, September 2005.

Ressources en ligne :

- http://joseph.rezeau.pagesperso-orange.fr/recherche/theseNet/theseNet-3_-2.html
- http://serious.classification.com/FR/games/index.html?start=96&sort=game_year%20ASC&display=thumb
- <http://teaching.uncc.edu/sites/teaching.uncc.edu/files/media/files/file/GoalsAndObjectives/Bloom.pdf>
- http://www.cafepedagogique.net/lesdossiers/Pages/2010/DDP_Vademecum.aspx

Liste des termes en anglais avec traduction française

Lors de l'écriture de cette thèse, nous avons parfois préféré adopter des termes anglais, au lieu de leur traduction française, en raison de leur présence dans la littérature de référence et notamment anglophone. Ce phénomène est en partie dû à l'origine géographique d'où ces concepts sont apparus pour la première fois : d'une part du milieu académique anglophone (états-unien et canadien), de l'autre du choix linguistique que les auteurs ont adopté pour donner à leur contribution une visibilité à niveau internationale.

Nous allons ci de suite proposer une traduction des termes anglophones présents dans cette thèse.

Acquiring relevant knowledge = Acquisition de connaissances pertinentes

Active processing = Codification active (de l'information)

Behaviourism = Comportementalisme

Black box = Boîte noire

Boring game = Jeu ennuyant

Bottom-up = Approche ascendante

Bug = Erreur informatiques

Card sorting = Association de cartes

Co-learning group support = Apprentissage collaboratif de groupe

Content Knowledge = Contenu de la connaissance

Contextual inquiry = Analyse contextuelle

Coping = Réaction à un stimulus souvent en situation de stress

Criticality_level = Niveau de criticité

De-bug = Résolution des erreurs informatiques

Decision making = Processus de prise de décision

Design focus group = Conception par groupe de discussion

Designer = Concepteur

Dual channel = Double codage (de l'information)

E-learning = Apprentissage électronique

Entertainment video games = Jeux vidéo pour le divertissement

Exploratory Data Analysis = Analyse exploratoire des données

Exploratory learning = Apprentissage par exploration libre

Feedbacks = Retour d'information

Flow = Flux (de concentration)

Food and Drug Administration = Administration Alimentaire et du médicament

Fun = Divertissement

Game = Jeu

Game Designer = Concepteur de jeux

Game-based learning = Apprentissage basé sur le jeu

Game/Purpose/Scope = Jeu/But/Domaine

Gameplay = Jouabilité (pas de traduction vraiment adaptée dans la littérature française)

Gamification = ludification

GMP – Good Manufacturing practices = BPF – Bonnes Pratiques de Fabrication

Guided discovery = Exploration guidée

Hierarchical task analysis = Analyse hiérarchisée des tâches

In-process = Dans le processus

Instructional Design = Concepteur Pédagogique

Instructional Design = Conception Pédagogique

International Organisation for Standardisation = Organisation Internationale pour la Standardisation

Learning by doing = Apprentissage par l'action

Learning Game(s) = Jeu(x) d'apprentissage

Limited capacity = Capacité limitée (de mémorisation)

Media fill test = Test de remplissage

MOOCs - Massive Online Open Courses = Cours de masse ouvert en ligne

Out-process = En dehors du processus

Participatory design = Conception participative

Patchwork = Travail composé

Pedagogical = Pédagogique

Pedagogical Game Designer = Concepteur pédagogique de jeux

Pedagogical knowledge = Connaissance pédagogique

Personas = Profil d'utilisateurs potentiels

Pin(s) = Repère(s)

Play = Joué / jouer

Points Of Interest (POI) = Points d'intérêt

Pop-up = Fenêtre intrusive ou surgissante

Problem solving = Processus de résolution de problèmes

Process Network Analysis = Analyse des réseaux de processus

Programmed discovery = Exploration programmée

Realistic problem-centred activities = Résolution réaliste des problèmes centrés sur l'activité

Sand Box Serious Game(s) = Jeu(x) sérieux du bac de sable (pas de traduction vraiment adaptée dans la littérature française)

Scaffolding = Soutien, accompagnement, co-construction

Score = Résultat d'évaluation

Scoring = Dispositif d'évaluation

Screen Designer = Concepteur des écrans

Serious Game Designer = Concepteur de jeux sérieux

Serious Game(s) = Jeu(x) Sérieux

Serious Play = Joué(s) Sérieux

Social Network Analysis = Analyse des réseaux sociaux

Sound manager = Manger du son

Standard Operation Protocol = Protocole Opérationnel Standard

Storyboard = Scénario

Storyboard = Scénario, scénarisation

Storyboard writer = Scénarisateur

Supporting Role Playing = Soutien du jeu de rôle

Task analysis = Analyse de la tâche

Technical content = Contenu technique

The best way = La meilleure manière

The best way to do = La meilleure manière de faire

Thinking aloud = Penser à voix haute

Usability test = Test d'utilisabilité

User Experience (UX) = Expérience utilisateur

User-Centered Design = Conception centrée sur l'utilisateur

Video Game(s) Design = Conception de jeu(x) vidéo

Table des matières

Table des matières

REMERCIEMENTS :	3
RESUME – ABSTRACT	5
INTRODUCTION	7
UNE THESE CIFRE : DE QUOI S'AGIT-IL ?	8
LES OBJECTIFS : DEFIS INDUSTRIELS ET DEFIS SCIENTIFIQUES	8
ORGANISATION GENERALE DE LA THESE	9
PARTIE THEORIQUE	11
1. CONTEXTE DE RECHERCHE	11
1.1. WHITEQUEST	12
1.1.1. L'EQUIPE	12
1.1.2. UNE OPPORTUNITE UNIQUE	13
1.1.3. LE DEMARRAGE DES ACTIVITES DE RECHERCHE ET LE CONTEXTE SCIENTIFIQUE	14
1.1.4. CONTEXTE ECONOMIQUE	15
1.1.5. LES PERSPECTIVES DE CROISSANCE	16
1.2. LA FORMATION PHARMACEUTIQUE EN SALLE BLANCHE	17
1.2.1. LES FORMATIONS ET LES EVALUATIONS PHARMA « TRADITIONNELLES »	18
1.2.2. UNE QUESTION D'ADAPTATION DES MODALITES D'EVALUATION ET DE FORMATION AUX OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE	25
1.3. LABQUEST : POURQUOI UN SERIOUS GAME (SG) ?	27
1.3.1. SIMULATION ET FORMATION TRADITIONNELLES POUR LES COMPETENCES ET LES CONNAISSANCES PROCEDURALES	27
1.3.2. LE BESOIN D'UN OUTIL DE FORMATION ET D'EVALUATION	28
2. APPRENDRE PAR LA SIMULATION : POURQUOI ET COMMENT APPRENDRE AVEC LES SERIOUS GAMES (SGS)	30
2.1. SERIOUS GAMES ET SIMULATION : UN NOUVEL HORIZON POUR LA FORMATION	31
2.1.1. L'HISTORIQUE DES « SERIOUS GAMES »	31
2.1.2. SERIOUS GAMES ET APPRENTISSAGE MULTIMEDIA : COMMENT APPREND-ON ?	32
2.1.2.1. LE DOUBLE CODAGE DE L'INFORMATION (DUAL CHANNEL)	33
2.1.2.2. LA CAPACITE LIMITEE DE TRAITER L'INFORMATION (LIMITED CAPACITY)	34
2.1.2.3. LE ROLE DE L'ACTIVITE DE L'APPRENANT DURANT LA CODIFICATION DE L'INFORMATION (ACTIVE PROCESSING)	34
2.1.2.4. VERS UN MODELE UNITAIRE ET COGNITIVISTE DE L'APPRENTISSAGE MULTIMEDIA	35
2.1.3. LA SIMULATION : UN GAIN POUR L'APPRENTISSAGE	37
2.1.3.1. TYPOLOGIE DES SIMULATIONS	37
2.1.3.1. LES AVANTAGES DE L'APPRENTISSAGE PAR SIMULATION	39

Table des matières

2.1.3.1. LES APPORTS DE LA SIMULATION A LA RESOLUTION DE PROBLEME, AU JEU DE ROLE ET A LA PRISE DECISION SITUEE	40
2.1.4. CLASSIFICATION DES <i>SERIOUS GAMES</i>	42
2.1.5. <i>SERIOUS GAMES</i> ET APPRENTISSAGE : CARACTERISTIQUES ET COMPOSANTES	43
2.1.5.1. LES MECANISMES D'APPRENTISSAGE	44
2.1.5.2. LES <i>FEEDBACKS</i>	44
2.1.5.1. L'ORGANISATION DES ESPACES, L'APPLICATION DES REGLES	45
2.1.5.2. LES NIVEAUX DE DIFFICULTES	46
2.1.5.3. LE <i>FLOW</i>	47
2.1.5.4. LE <i>GAMEPLAY</i>	49
2.1.6. <i>SERIOUS GAMES</i> ET EFFICACITE	49
2.2. CONCEVOIR DES SITUATIONS D'APPRENTISSAGE : L'INDENTIFICATION DES OBJECTIFS PEDAGOGIQUES	52
2.2.1. L'APPRENTISSAGE PAR INSTRUCTION OU L'ENSEIGNEMENT PROGRAMME	53
2.2.1.1. INTERET DE L'APPROCHE PAR INSTRUCTION POUR LA CONCEPTION DU <i>SERIOUS GAME</i>	56
2.2.2. L'APPRENTISSAGE PAR OBJECTIFS	56
2.2.2.1. LA TAXONOMIE DE BLOOM	59
2.2.2.2. L'EVOLUTION DE LA TAXONOMIE DE BLOOM	63
2.2.2.3. INTERET DE L'APPROCHE PAR OBJECTIFS POUR LA CONCEPTION DU <i>SERIOUS GAME</i>	65
2.2.3. L'APPROCHE PAR COMPETENCES	66
2.2.3.1. INTERET DE L'APPROCHE PAR COMPETENCES POUR LA CONCEPTION DU <i>SERIOUS GAME</i>	69
2.2.4. L'APPRENTISSAGE PAR L'ACTION	70
2.2.4.1. INTERET DE L'APPRENTISSAGE PAR L'ACTION POUR LA CONCEPTION DU <i>SERIOUS GAME</i>	72
2.2.5. DIFFERENTES APPROCHES, DIFFERENTES PHASES... OU LES MEMES ?	72
3. COMPETENCES PROFESSIONNELLES ET METHODES D'ANALYSE DE L'ACTIVITE DE TRAVAIL	73
3.1. GESTE PROFESSIONNEL, DEVELOPPEMENT DES COMPETENCES ET MESURE DES PERFORMANCES	73
3.1.1. LE GESTE PROFESSIONNEL COMME UNITE DE MESURE DES COMPETENCES	75
3.1.1.1. LE CONCEPT DE GESTE PROFESSIONNEL	75
3.1.1.2. LES SAVOIRS, SAVOIR-FAIRE, SAVOIR-ETRE	77
3.1.1.3. LE CONCEPT DE COMPETENCE ET PERFORMANCE	79
3.2. L'ANALYSE DE L'ACTIVITE DE TRAVAIL : LES APPORTS DE LA DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE ET DE L'ERGOLOGIE	83
3.2.1. LES ELEMENTS CARACTERISANT L'ACTIVITE DE TRAVAIL	85
3.2.1.1. LA TACHE	85
3.2.1.2. LA TACHE PRESCRITE	86
3.2.1.3. L'ACTIVITE REELLE (OU TACHE EFFECTIVE)	87
3.2.1.4. LES CONDITIONS DE TRAVAIL	89
3.2.2. L'ANALYSE DU TRAVAIL : UNE MISE EN PRATIQUE	89
4. VERS LA DEFINITION DE LA THEORIE DE L'ADAPTATION INSTRUMENTALE	92
4.1. L'ACQUISITION DE CONNAISSANCES : DE L'APPRENTISSAGE « TRADITIONNEL » A L'INTEGRATION DES TECHNOLOGIES INFORMATIQUES. DES THEORIES DE L'ACTIVITE A LA THEORIE DU CONFLIT INSTRUMENTAL	93
4.1.1. L'EVOLUTION DES CONTENUS D'ENSEIGNEMENT	93

Table des matières

4.1.2.	LA THEORIE DE L'ACTIVITE ET LE PROCESSUS D'APPROPRIATION DES OUTILS	97
4.1.3.	L'APPROCHE DE RABARDEL : DE L'ARTEFACT A L'INSTRUMENT. LA GENESE INSTRUMENTALE	99
4.1.3.1.	ARTEFACTS ET INSTRUMENTS	100
4.1.3.2.	LA GENESE INSTRUMENTALE	102
4.1.3.3.	DE LA GENESE INSTRUMENTALE APPLIQUEE AUX APPRENTISSAGES A LA THEORIE DU CONFLIT INSTRUMENTAL : ARTEFACTS DIDACTIQUES, PEDAGOGIQUES, TECHNIQUES	103
4.1.4.	L'INTEGRATION DES TECHNOLOGIES INFORMATIQUES ET LE CONFLIT INSTRUMENTAL.	105
4.2.	LIMITES DU CONFLIT INSTRUMENTAL ET MODELE DE L'ADAPTATION INSTRUMENTALE	109
4.2.1.	LES ARTEFACTS TECHNIQUES TRANSPARENTS ET OPAQUES	109
4.2.1.	ARTEFACT TECHNIQUE OU ARTEFACT MEDIATIQUE ?	111
4.2.2.	LE CYCLE D'ACQUISITION DES ARTEFACTS	111
4.2.3.	LE MODELE DE L'ADAPTATION INSTRUMENTALE	116
5.	DES ENJEUX INDUSTRIELS A LA FORMULATION DE LA PROBLEMATIQUE ET DES HYPOTHESES	118
5.1.	LE DEFI INDUSTRIEL, LE POSTULAT SCIENTIFIQUE	118
5.2.	HYPOTHESES	120
	PARTIE PRAGMATIQUE : CONCEPTION ET FINALISATION DE LABQUEST	122
6.	LA CONCEPTION DE LABQUEST	122
6.1.	LES MODELES DE CONCEPTION DES <i>SERIOUS GAMES</i>	122
6.1.1.	ÉTAT DE L'ART DES MODELES DE CONCEPTION DES <i>SERIOUS GAMES</i>	123
6.1.2.	ANALYSE CRITIQUE DE LEGADEE. VERS LA DEFINITION DE PEGADE	126
6.2.	LE PGD (<i>PEDAGOGICAL GAME DESIGNER</i>) : UNE NOUVELLE FIGURE PROFESSIONNELLE	131
6.2.1.	LE PGD ET L'APPROCHE DE CONCEPTION CENTREE SUR L'UTILISATEUR : « <i>USER-CENTRED DESIGN</i> »	134
6.2.1.1.	LES PHASES DE LA <i>USER-CENTERED DESIGN</i> (UCD)	135
6.2.1.2.	LES PROFILS D'UTILISATEURS « <i>PERSONAS</i> »	136
6.2.1.3.	LES METHODES D'ANALYSE	137
6.2.2.	LE PGD ET LABQUEST VIS-A-VIS DE L'OPERATIONNALISATION DE L'ANALYSE DE L'ACTIVITE ET L'IDENTIFICATION DES CONTENUS PEDAGOGIQUES.	138
6.2.3.	DE L'INGENIERIE PEDAGOGIQUE A LA CONCEPTION D'UN SCENARIO INTEGRE	140
6.2.4.	L'INTEGRATION DE L'APPRENANT DANS LE PROCESSUS DE CONCEPTION : LA <i>USER EXPERIENCE</i> (UX)	146
6.2.5.	L'IMPORTANCE DE PRENDRE EN CONSIDERATION LA THEORIE DU CONFLIT INSTRUMENTAL ET LE MODELE DE L'ADAPTATION INSTRUMENTALE LORS DE LA CONCEPTION D'UN SG	146
6.3.	PEGADE (<i>PEDAGOGICAL GAME DESIGN</i>) : UN MODELE HOLISTIQUE DE CONCEPTION DES <i>SERIOUS GAMES</i>	147
6.4.	LES PHASES DE CONCEPTION DE LABQUEST	151
6.4.1.	PHASE 1 : IDENTIFICATION DES CONTENUS PEDAGOGIQUES	152
6.4.1.1.	LE PROFIL DES UTILISATEURS-TYPES DE LABQUEST : LES <i>PERSONAS</i>	157
6.4.2.	PHASE 2 : LE CHOIX ET L'ADAPTATION DES INDICATEURS POUR LABQUEST	159
6.4.3.	PHASE 3 : LA CONCEPTION DU SCENARIO PEDAGOGIQUE	161
6.4.4.	PHASE 4 : L'ALGORITHME DE SCORE. L'EVOLUTION DE LA CONCEPTION	165
6.4.4.1.	CONSTITUTION DU TABLEAU DES INDICATEURS	165
6.4.4.2.	LE CODAGE DES ERREURS	166
6.4.4.3.	L'ALGORITHME DE SCORE	169

Table des matières

6.4.5.	PHASE 5 : L'INTERFACE HOMME-MACHINE (IHM)	170
6.4.5.1.	MODALITES D'INTERACTION ET INTERFACE HOMME-MACHINE	171
6.4.5.2.	LE TUTORIEL (OU DIDACTICIEL)	171
6.5.	L'ARCHITECTURE DES CONTENUS PEDAGOGIQUES	173
6.5.1.	LES 10 GESTES PROFESSIONNELS	173
6.5.2.	DEFINITION DES INDICATEURS DE PERFORMANCE	175
6.5.3.	LES DOMAINES DE COMPETENCE	176
6.6.	LE GUIDE D'UTILISATION DE LABQUEST : DESCRIPTION ET METHODOLOGIE DE CONSTITUTION	177
6.6.1.	LA STRUCTURE DU GUIDE A L'UTILISATION DE <i>LABQUEST</i>	177
6.6.2.	LE GUIDE DES CONTENUS PEDAGOGIQUES	178
6.6.3.	LA LISTE DES OBJETS	180
6.6.4.	LE GUIDE DES COMMANDES ET DU <i>GAMEPLAY</i>	181
6.7.	LABQUEST FORMATION : L'INTEGRATION DES POI (POINTS OF INTEREST)	182
6.7.1.	LE BESOIN	182
6.7.2.	CHOIX DES CONTENUS DE LABQUEST FORMATION :	184
6.7.3.	ARCHITECTURE VIRTUELLE	185
6.7.4.	ARCHITECTURE THEMATIQUE	186
6.7.5.	CONCEPTION DES ILLUSTRATIONS	187
6.8.	REGLAGES ET RETOURS DES <i>BETA</i>-TESTEURS - REVISION DU <i>SERIOUS GAME</i> A LA LUMIERE DU MODELE DU CONFLIT INSTRUMENTAL	190
6.8.1.	BETA-TEST 1 – METHODOLOGIE D'ANALYSE DE L'INTERACTION HOMME-MACHINE : <i>SERIOUS GAME</i> LABQUEST PARTIEL	191
6.8.1.1.	RESULTAT DE L'OBSERVATION DU <i>BETA</i> -TEST 1:	192
6.8.1.2.	DISCUSSION ET ANALYSE DES RESULTATS SUITE A L'OBSERVATION DE L'UTILISATION DE LABQUEST	193
6.8.1.3.	EVOLUTIONS DU TUTORIEL SUITE AU <i>BETA</i> -TEST 1	194
6.8.2.	<i>BETA</i> -TEST 2 – METHODOLOGIE D'ANALYSE DE L'INTERACTION HOMME-MACHINE : <i>SERIOUS GAME</i> LABQUEST FINALISE	196
6.8.2.1.	RESULTAT DE L'OBSERVATION DU <i>BETA</i> -TEST 2	197
6.8.2.2.	DISCUSSION ET ANALYSE DES RESULTATS DE L'OBSERVATION DE L'UTILISATION DE LABQUEST	199
6.8.2.3.	EVOLUTIONS DE LABQUEST SUITE AU <i>BETA</i> -TEST 2	201
6.8.3.	DES RESULTATS INATTENDUS	203
6.9.	L'UTILISATION DE LABQUEST EN ENTREPRISE PHARMACEUTIQUE	205
	PARTIE EMPIRIQUE : L'ETUDE DE LABQUEST SUR LE TERRAIN	207
7.	EXPLORATION DU <i>SERIOUS GAME</i>	208
7.1.	PROTOCOLE D'OBSERVATION ET COLLECTE DES DONNEES	209
7.1.1.	LES ENJEUX DU PROTOCOLE – RAPPELLE DES HYPOTHESES	209
7.1.2.	LE DEROULEMENT DU PROTOCOLE EXPERIMENTAL PRINCIPAL	210
7.1.2.1.	CHOIX DE L'ECHANTILLON	211
7.1.2.2.	LE PRE-TEST	211
7.1.2.3.	LA FORMATION	211
7.1.2.4.	LE POST-TEST	213
7.1.2.5.	VIDEO D'OBSERVATION	213
7.1.3.	METHODE D'OBSERVATION ET DE RECUEIL DES DONNEES	213
7.1.3.1.	OBSERVATION PENDANT LE TEST	214

Table des matières

7.1.3.2.	INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES	214
7.1.4.	CODAGE DES DONNEES	215
7.1.4.1.	OBSERVATION DES PRE ET DES POST-TESTS	215
7.2.	RESULTATS DE L'ANALYSE DE L'EFFICACITE DU SERIOUS GAME COMME OUTIL DE FORMATION	216
7.2.1.	ECHANTILLON	216
7.2.2.	ANALYSE QUANTITATIVE DES DONNEES : PROGRESSION PRE-TEST/POST-TEST	219
7.2.2.1.	ENSEMBLE DES PROCEDURES	220
7.2.2.2.	PROCEDURE DE NETTOYAGE D'UNE SURFACE.	224
7.2.2.3.	PROCEDURE DE SUBSTITUTION D'UNE BOITE DE PETRI.	228
7.2.3.	DETECTION DES ERREURS DANS LA VIDEO D'OBSERVATION DE TIERCES PERSONNES	234
7.2.4.	OBSERVATION DE L'ACTIVITE DES APPRENANTS PENDANT LA FORMATION AVEC LABQUEST (23 SUJETS)	237
7.2.5.	ANALYSE QUALITATIVE ET QUANTITATIVE DE LA VERBALISATION PENDANT L'EXPLORATION DE LABQUEST (23 SUJETS)	249
7.2.6.	OBSERVATION D'UNE FORMATION EN ENTREPRISE (<i>IN VIVO</i>)	252
7.2.6.1.	METHODOLOGIE D'OBSERVATION	252
7.2.6.2.	OBSERVATION PENDANT LA FORMATION	253
7.2.6.3.	REPONSES AUX QUESTIONNAIRES DE SATISFACTION POST-FORMATION	255
7.2.6.4.	LA PAROLE AUX FORMATEURS.	260
7.2.7.	OBSERVATIONS CONSECUTIVES AUX RESULTATS DE LA PROCEDURE DE SUBSTITUTION DE LA BOITE DE PETRI : VERIFICATION AVEC L'ENFILAGE DES SUR-BOTTES	262
7.2.7.1.	PROTOCOLE DE LA MANIPULATION COMPLEMENTAIRE	262
7.2.7.2.	CODAGE DES DONNEES	263
7.2.7.3.	ANALYSE DES RESULTATS	264
7.2.7.4.	QUELS EXERCICES PROPOSER ? ANALYSE DES EXERCICES DE SIMULATION ET PROPOSITION DE SOLUTION	266
7.3.	DISCUSSION DES RESULTATS	271
8.	LABQUEST VIS-A-VIS DU MODELE DE L'ADAPTATION INSTRUMENTALE	275
8.1.	PROTOCOLE D'OBSERVATION ET COLLECTE DE DONNEES	275
8.1.1.	LES ENJEUX DU PROTOCOLE – RAPPEL DES HYPOTHESES	275
8.1.2.	DEROULEMENT DU PROTOCOLE ET METHODE D'ENREGISTREMENT DES DONNEES	276
8.1.3.	CODAGE DES DONNEES	277
8.1.4.	GEPHI ET LA <i>PROCESS NETWORK ANALYSIS</i>	284
8.2.	RESULTAT DES OBSERVATIONS DU PROCESSUS D'ACQUISITION DES ARTEFACTS	286
8.2.1.	PRESENTATION DES RESULTATS INDIVIDUELS : QUELQUES EXEMPLES	286
8.2.2.	PRESENTATION GLOBALE DES RESULTATS	289
8.3.	DISCUSSION DES RESULTATS	296
9.	DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSIONS	300
9.1.	LE POINT DE LA SITUATION	300
9.2.	L'ARTICULATION DES PARADIGMES THEORIQUES DANS LA VERIFICATION DES HYPOTHESES	302
9.3.	POINTS CRITIQUES ET DE DEVELOPPEMENT	305
9.3.1.	LE PGD : QUELLE FORMATION ?	305
9.3.2.	LES APPRENTISSAGES DIRECTIFS (OU ENSEIGNEMENTS PROGRAMMES) AU SEIN D'UN SG ?	306
9.3.3.	LA <i>PROCESS NETWORK ANALYSIS</i> (PNA) COMME NOUVEAU TEST D'UTILISABILITE ?	307

Table des matières

9.3.4. PLACE DE LA VERBALISATION ? APPRENTISSAGE ? SG ?	307
9.3.5. QUELLE DEFINITION DE LABQUEST	308
BIBLIOGRAPHIE	311
LISTE DES TERMES EN ANGLAIS AVEC TRADUCTION FRANÇAISE	321
TABLE DES MATIERES	324
LISTE DES TABLEAUX	330
LISTE DES FIGURES	333
ANNEXES	335
LIEN VERS LES DEMONSTRATIONS DU LOGICIEL	336
CONNEXION A LABQUEST DEMO	337
PROTOCOLE DE TEST LABQUEST	338
PROTOCOLE DE TEST TRADITIONNEL	341
GRILLE D'OBSERVATION UTILISEE AU PRE- ET POST- TEST	349
ISALEM-97	350
ANALYSE DES CAPTURES D'ECRAN POUR DE L'EXPLORATION DE LQ	356
GEPHI ET LE PROCESSUS D'ACQUISITION DES ARTEFACTS	362
QUESTIONNAIRE DE SATISFACTION	368
FICHE PRATIQUE DE PRISE EN MAIN DU LOGICIEL	369
LISTE DES CONTENUS PEDAGOGIQUES PRESENTS DANS LE LOGICIEL	370
GUIDE PEDAGOGIQUE	372

Liste des tableaux

Tableau 1 : méthodes de formation utilisées dans le secteur pharmaceutique	21
Tableau 2 : Méthodes d'évaluations utilisées dans le secteur pharmaceutique	25
Tableau 3 : modèle GPS de Djaouti et al. (2011)	43
Tableau 4: Les composantes de l'immersivité, tiré de Hamdi-Kidarn & Maubisson (2012)	48
Tableau 5: Classification de la sphère cognitive	59
Tableau 6 : Classification de la sphère affective	60
Tableau 7 : Classification de la sphère psycho-motrice	61
Tableau 8 : Critères d'évaluation selon la taxonomie de Bloom	63
Tableau 9 : Nouvelle dénomination du processus cognitif selon Anderson	64
Tableau 10 : Niveaux des connaissances d'après Anderson et Krathwohl (2001)	65
Tableau 11 : Matrice des connaissances, revisitée par Anderson & Krathwohl (2001)	65
Tableau 12 : Comparaison entre le modèle du conflit instrumental de Marquet et celui de l'adaptation instrumentale issu de ce travail de recherche	116
Tableau 13 : Comparaison entre les modèles LEGADEE et PEGADE	131
Tableau 14 : Acteurs et missions pour la conception de serious games selon le modèle PEGADE	151
Tableau 15: Analyse de l'activité pour une UCD	153
Tableau 16 : L'analyse du geste professionnel « habillage »	157
Tableau 17 : Les indicateurs de performance	166
Tableau 18 : Le codage des erreurs	168
Tableau 19 : Exemple de tableau des objets et de leurs normes relatives, disponible dans le guide pédagogique	179
Tableau 20 : Collecte des données suite à l'observation de l'utilisation de LabQuest	192
Tableau 21 : Collecte des données suite à l'observation de l'utilisation de LabQuest	199
Tableau 22 : Pré-test lors du protocole expérimental	211
Tableau 23 : Formation lors du protocole expérimental	212
Tableau 24 : Post-test lors du protocole expérimental	213
Tableau 25 : Observations mises en place lors du protocole expérimental	214
Tableau 26 : Distribution des fréquences des âges des sujets ayant participé aux tests	217
Tableau 27 : Distribution des fréquences par sexe des sujets	218
Tableau 28 : Distribution des stratégies d'apprentissage des sujets	218
Tableau 29 : Distribution des fréquences d'utilisation des technologies informatiques des sujets	219
Tableau 30 : Distribution des utilisations des jeux vidéo des sujets	219
Tableau 31 : Moyennes de scores globaux obtenus aux pré et post-tests	220
Tableau 32 : Tableau récapitulatif du test d'ANOVA à mesures répétées pour l'ensemble des procédures	223
Tableau 33 : Résultat des performances au post-test. Différences entre les protocoles LQ et TRAD pour la procédure de « nettoyage d'une surface »	224
Tableau 34 : Récapitulatif des résultats obtenus au pré-test et post-test pour les protocoles LQ et TRAD pour la procédure « nettoyage d'une surface »	225
Tableau 35 : Progression entre le pré-test et le post-test pour la procédure de « nettoyage d'une surface »	226
Tableau 36 : Tableau récapitulatif des résultats du test ANOVA à mesures répétées pour la procédure de « nettoyage d'une surface »	228
Tableau 37 : Performances au post-test pour les protocoles LQ et TRAD pour la procédure de « substitution de la boîte de Pétri »	229
Tableau 38 : Progression entre le pré-test et le post-test pour la procédure de « substitution de la boîte de Pétri »	230
Tableau 39 : Récapitulatif des résultats obtenus au pré-test et au post-test pour les protocoles LQ et TRAD pour la procédure « substitution de la boîte de Pétri »	231
Tableau 40 : Tableau récapitulatif du test ANOVA à mesures répétées pour la procédure de « substitution de la boîte de Pétri »	233

Liste des tableaux

Tableau 41 : Détection des erreurs pertinentes et non pertinentes (Denami, 2016)	235
Tableau 42 : Références aux règles de lavage des mains au post-test	238
Tableau 43 : Désir de réaliser une procédure de lavage des mains après avoir consulté le panneau de « procédure de lavage des mains »	239
Tableau 44 : Références aux règles de lavage des mains au post-test après avoir consulté le panneau de « procédure de lavage des mains »	240
Tableau 45: Impact de l'ouverture du POI sur la répétition de la règle à voix haute	241
Tableau 46 : Traitement de la cagoule après visualisation du POI « règle d'habillage du haut vers le bas »	241
Tableau 47 : Erreurs moyennes commises dans l'échantillon	243
Tableau 48 : Fréquence d'utilisation des miroirs dans la simulation	244
Tableau 49 : Commentaires des sujets ayant effectué le protocole LabQuest	247
Tableau 50 : Commentaires des sujets ayant effectué le protocole traditionnel	248
Tableau 51 : Statistiques descriptives des catégories de verbalisations réalisées lors de l'exploration	250
Tableau 52 : Corrélations entre les cinq catégories de verbalisation	251
Tableau 53 : La pertinence de l'approche pédagogique	255
Tableau 54 : La pertinence du contenu de la formation	256
Tableau 55 : Le niveau technique de la formation	256
Tableau 56 : La qualité de l'intervenant	256
Tableau 57 : La qualité des échanges	257
Tableau 58 : Le rythme de la formation	257
Tableau 59 : La durée de la formation	257
Tableau 60 : Réponse à la question « Avez-vous l'impression que cette formation va vous aider dans votre travail quotidien en entreprise ? »	258
Tableau 61 : Réponse à la question « Recommanderiez-vous ce type de formation à des collègues d'autres entreprises pharmaceutiques ? »	258
Tableau 62 : Mots-clés relatifs à l'expérience de formation avec le logiciel LabQuest	259
Tableau 63 : Réponses aux questionnaires de la part de 5 formateurs des entreprises pharmaceutiques	261
Tableau 64 : Protocole de test relatif à la manipulation complémentaire	263
Tableau 65 : Résultats relatifs à la tâche « désinfection des mains »	264
Tableau 66 : Résultats relatifs à la tâche « saisie des sur-bottes dans l'armoire des vêtements »	264
Tableau 67 : Résultats relatifs à la tâche « désinfection du banc »	264
Tableau 68 : Résultats relatifs à la tâche « déposer les sur-bottes sur le banc »	265
Tableau 69 : Résultats relatifs à la tâche « désinfection des mains »	265
Tableau 70 : Résultats relatifs à la tâche « enfilage de l'une et l'autre sur-botte en franchissant le banc »	265
Tableau 71 : Résultats relatifs à la tâche « désinfection finale des mains »	266
Tableau 72 : Notes relatives à l'exécution de la procédure « enfilage des sur-bottes » en post-test	266
Tableau 73 : Mise en comparaison des deux exercices lors de la formation LabQuest - protocole expérimental	267
Tableau 74 : Synthèse de la nature des exercices dans la formation LabQuest – protocole expérimental	268
Tableau 75 : Les trois métaphores de l'apprentissage multimédia (Mayer, 2014)	270
Tableau 76 : Récapitulatif des résultats pour le protocole principal	271
Tableau 77 : Récapitulatif des résultats pour le protocole secondaire	271
Tableau 78 : Légende des interventions codées	277
Tableau 79 : Codification des artefacts	278
Tableau 80 : Transcription et codage d'une exploration des artefacts lors de la formation LabQuest	279
Tableau 81 : Codage du nombre de connexions observées dans l'exploration du SG réalisée par le test 1	284
Tableau 82 : Connexion des artefacts. Test 1	286
Tableau 83 : Connexion des artefacts. Test 3	287
Tableau 84 : Connexion des artefacts. Test 5	287
Tableau 85 : Connexion des artefacts. Test 40	288
Tableau 86 : Connexion des artefacts. Ensemble des tests	289
Tableau 87 : Parcours d'acquisition des artefacts et résultat au post-test pour l'ensemble des tests	295

<i>Tableau 88 : Les caractéristiques de Serious Games, Serious Play et Simulateurs, tiré de Lelardeux et al. 2012</i>	<i>308</i>

Liste des figures

Figure 1 : théorie cognitive de l'apprentissage multimédia (Mayer 2001)	36
Figure 2 : Pyramide de Bloom vs Pyramide de Anderson	64
Figure 3 : Les facteurs et les composantes du travail réel	91
Figure 4 : Le triangle de Engeström	98
Figure 5 : Genèse instrumentale d'après Marquet (2011)	106
Figure 6 : Le modèle TPACK	112
Figure 7 : Le modèle de l'adaptation instrumentale	113
Figure 8 : Première personne. Désinfection des mains au bon endroit	141
Figure 9 : Troisième personne. Procédure de désinfection en cinq étapes	141
Figure 11 : Modèle de conception de serious games PEGADE	150
Figure 12 : Les facteurs constitutants de l'activité de travail	153
Figure 13 : Capture d'écran de la vidéo à la troisième personne. Deux opérateurs réalisent un contact	161
Figure 14 : Le plan de l'usine virtuelle dans LabQuest	163
Figure 15 : Écran récapitulatif des scores dans le tableau de bord du logiciel	170
Figure 16 : Les commandes pour le déplacement dans LabQuest	172
Figure 17 : Les éléments du décor, les objets et l'avatar	172
Figure 18 : L'interaction avec les objets simples et complexes	173
Figure 19 : Les commandes pour signaler les erreurs dans les séquences « vidéo d'observation » et « dossier de lot »	173
Figure 20 : Structure des contenus pédagogiques de LabQuest	177
Figure 21 : Plan de l'usine montrant l'emplacement des objets dans LabQuest	180
Figure 22 : Liste des objets présents dans LabQuest	181
Figure 23 : Illustration POI « perturbation d'un flux laminaire »	184
Figure 24 : Illustration POI « importance d'un nettoyage correct des surfaces »	185
Figure 25 : Emplacement des POIs dans le sas non classé	186
Figure 26 : Illustration POI « Règle générale d'habillement »	187
Figure 27 : Illustration POI « Enfilage des sur-bottes »	188
Figure 28 : Illustration POI « importance d'un nettoyage soigné des mains »	188
Figure 29 : Illustration POI « Cascades de pression »	189
Figure 30 : Illustration POI « Différents niveaux de propreté »	189
Figure 31 : Ecran de tutoriel pour le déplacement du regard	195
Figure 32 : Ecran de tutoriel pour l'avancement	195
Figure 33 : Ecran de tutoriel pour la présentation du plan de l'usine et l'emplacement des différents objets	195
Figure 34 : capture d'écran pour les ronds qui symbolisent les mains	201
Figure 35 : Protocole expérimental principal	210
Figure 36 : Distribution des fréquences des âges des sujets ayant participé aux tests	217
Figure 37 : Distribution des fréquences par sexe des sujets	218
Figure 38 : Distribution des stratégies d'apprentissage des sujets	218
Figure 39 : Distribution des fréquences d'utilisation des technologies informatiques des sujets	219
Figure 40 : Distribution des utilisations des jeux vidéo des sujets	219
Figure 41 : Progression pré et post-test pour le score global (Denami, 2016)	221
Figure 42 : Régression linéaire des résultats pré-test et post-test obtenus avec le protocole traditionnel	221
Figure 43 : Régression linéaire des résultats pré-test et post-test obtenus avec le protocole LabQuest	221
Figure 44 : Graphique représentant les résultats du test d'ANOVA à mesures répétées pour l'ensemble des procédures	223
Figure 45 : Taux de réussite, par tâche, pour la procédure de nettoyage d'une surface (Denami, 2016)	224
Figure 46 : Progression entre le pré et le post-test pour la procédure « nettoyage d'une surface	225
Figure 47 : Régression linéaire des résultats pré-test et post-test avec le protocole traditionnel	227
Figure 48 : Régression linéaire des résultats pré-test et post-test avec le protocole LabQuest	227

Liste des figures

Figure 49 : Test d'ANOVA à mesures répétées pour la procédure de « nettoyage d'une surface »	228
Figure 50 : Progression des performances entre le pré-test et le post-test pour la procédure de substitution de la BDP	232
Figure 51 : Test d'ANOVA à mesures répétées pour la procédure de « substitution boîte de Pétri »	233
Figure 52 : Détection des erreurs observées dans la vidéo (Denami, 2016)	236
Figure 53: Procédure de lavage des mains disponibles dans LabQuest	238
Figure 54 : Différence entre nettoyage et désinfection des mains disponibles dans LabQuest	238
Figure 55 : Capture d'écran de l'habillage d'un utilisateur en train d'endosser le sous-vêtement d'usine pendant l'exploration de LabQuest	240
Figure 56 : Contenu pédagogique « règle d'habillage du haut vers le bas » dans LabQuest	241
Figure 57 : Comportements des sujets observés lors de la procédure de substitution de la boîte de Pétri	243
Figure 58 : Capture d'écran de la personne en train de se regarder dans le miroir dans LabQuest	245
Figure 59 : Capture d'écran d'un opérateur en train de se réajuster le masque de vision dans LabQuest	255
Figure 60 : Cycle d'exploration des artefacts	280
Figure 61: Cycle d'exploration des artefacts avec cheminement de l'utilisateur	281
Figure 62 : Parcours d'acquisition des artefacts. Connexions observées dans l'exploration du SG réalisée pour le test 1	285
Figure 63 : Parcours d'acquisition des artefacts. Test 1	286
Figure 64 : Parcours d'acquisition des artefacts. Test 3	287
Figure 65 : Parcours d'acquisition des artefacts. Test 5	287
Figure 66 : Parcours d'acquisition des artefacts. Test 40	288
Figure 67 : Parcours d'acquisition des artefacts. Ensemble des tests	289
Figure 68: Parcours d'acquisition des artefacts et modèle de l'adaptation instrumentale. Ensemble des tests	290
Figure 69: Parcours d'acquisition pondérée des artefacts et modèle de l'adaptation instrumentale. Ensemble des tests	291

ANNEXES

Lien vers les démonstrations du logiciel

<http://www.labquest.fr>

<https://www.youtube.com/watch?v=W92ktnpOKK4>

<https://www.youtube.com/watch?v=lr91ASfNfr8>

<https://www.youtube.com/watch?v=Ks1Tlo0pViA>

<https://www.youtube.com/watch?v=sUI9WmBmkJA>

Connexion à LabQuest Demo

La première étape à réaliser pour pouvoir utiliser LabQuest consiste en télécharger le Plug-in Unity3D. Dans ce but veuillez :

- contrôler d'avoir une version de Internet explorer 10 ou 11 ;
- vous connecter à la page <http://www.labquest.fr/test/>
- réaliser le test qui vous guidera à l'installation de Unity3D

Veuillez ensuite vous connecter à la page <https://demo.labquest.fr>

et compléter les champs disponibles

User : **maria@labquest.fr**

Password : **BeWhite!**

Vous pouvez ensuite lancer une formation (en cliquant sur le volet former) ou une évaluation (en cliquant sur le volet évaluer). En ce qui concerne la formation, un apprenant et demandé ainsi que le scénario que vous voulez explorer. Sentez-vous libres de sélectionner au choix et procédez par tentatives et erreurs pour explorer l'interface afin de lancer le Serious Game.

Protocole de test LabQuest

Test N°	
Date	
Sexe	
Âge	
Usage TIC	

Cher collaborateur,

Merci d'avoir accepté d'effectuer ce test pour la finalisation de mon travail de recherche de thèse. Nous vous proposerons différentes activités que vous devriez effectuer ; elles sont détaillées dans ce document.

Ce test vous demandera environ 1 heure.

PRE-TEST :

Pre-test A)

Vous avez à disposition les suivants éléments :

- une vitre (ou un miroir) ;
- des lingettes ;
- un produit nettoyant ;
- gel hydro-alcoolique.

À l'aide de ces éléments, essayez de finaliser une procédure de nettoyage de la surface !

Pre-test B)

Vous avez à disposition les suivants éléments :

- une boîte de Pétri ;
- un stylo ;
- une boîte avec des vitres ouvrables (notre « RABS ») ;
- une table d'appoint ;
- un gel désinfectant.

À l'aide de ces éléments, essayez de finaliser une procédure de substitution de la boîte de Pétri.

TEST :

*Voici le simulateur LabQuest, grâce à cet outil, vous essayerez d'apprendre les procédures de **nettoyage de surfaces** et de substitution de la boîte de Pétri que vous venez de faire « dans la vie réelle ».*

Test A)

Explorez l'environnement 3D simulé et prêtez attention aux « pins » disponibles sur votre chemin. En effet, il s'agit de très précieuses aides qui vous renseigneront sur les procédures et les normes fondamentales à la finalisation des tâches que nous vous demanderons d'accomplir. Concentrez vous, en particulier, sur les « pins » qui vous expliquent comment effectuer un nettoyage des surfaces.

Test B)

*Dans ce document, vous trouverez toutes les informations concernant les méthodes d'**utilisation de la boîte de Pétri** dans le cadre d'une zone à atmosphère contrôlée. Veuillez le lire, s'il vous plaît, pour prendre connaissance des procédures plus fréquemment utilisées. **Vous essayerez de reproduire cette procédure pas à pas en utilisant le simulateur LabQuest.** L'objectif est d'apprendre comment effectuer le remplacement d'une boîte de Pétri comme précédemment.*

Une **boîte de Pétri** est une boîte cylindrique translucide peu profonde, en verre ou en plastique, munie d'un couvercle.

Facilement manipulable, empilable et peu coûteuse, elle est utilisée en microbiologie pour la mise en culture de micro-organismes, de bactéries ou de cellules d'organismes supérieurs. À l'intérieur de celle-ci un milieu de culture est présent. Ceci est indispensable pour que les particules, micro-organismes présents dans l'air s'y déposent.

Elle est placée dans la machine pendant le processus de fabrication pour s'assurer que l'environnement qui enveloppe la machine n'est pas contaminé.

La boîte de Pétri doit être changée régulièrement et normalement ne doit jamais être laissée en exposition pour un temps supérieur à 4 heures. Il est nécessaire qu'elle soit changée en occasion des changements d'équipe.

Chaque manipulation de la boîte doit être documentée sur la boîte même et sur le dossier de fabrication finalisé à la délibération du lot

La procédure de substitution de la boîte de Pétri consiste en un ensemble de tâches qui doivent être respectées scrupuleusement.

Plusieurs boîtes de Pétri sont disponibles dans la machine lors du démarrage de la session de production. L'opérateur doit s'assurer qu'elles sont bien présentes dans la machine. Dans le cas contraire, l'opérateur doit se préoccuper de récupérer de nouvelles boîtes de Pétri, en ayant contrôlé leur intégrité au préalable.

Procédure d'installation d'une boîte de Pétri au démarrage de la session de production

- Se désinfecter les mains.
- Ouvrir les vitres du RABS qui enveloppe la machine.
- Vérifier l'intégrité de la boîte de Pétri que l'on veut installer.
- Renseigner l'heure d'ouverture sur le couvercle de la boîte de Pétri encore fermée.
- Ouvrir la boîte de Pétri. Bien s'assurer que le couvercle est posé à l'horizontale avec le fond vers le haut.
- Refermer les vitres du RABS qui enveloppe la machine.
- Se désinfecter les mains.
- Renseigner l'ouverture de la boîte de Pétri sur le dossier de fabrication présent.

Procédure de substitution d'une boîte de Pétri en cours de session de production

- Se désinfecter les mains.
- Ouvrir les vitres du RABS qui enveloppe la machine.
- Fermer la boîte de Pétri ouverte dans la machine.
- Annoter l'heure de fermeture de la boîte de Pétri.
- Prendre une autre boîte de Pétri et l'installer à la place de celle qui a été refermée.
- Annoter l'heure d'ouverture sur le couvercle de la nouvelle boîte de Pétri encore fermée.
- Ouvrir la boîte de Pétri. Bien s'assurer que le couvercle est posé à l'horizontale avec le fond vers le haut.
- Prélever l'ancienne boîte de Pétri fermée.
- Refermer les vitres du RABS qui enveloppe la machine.
- Poser la boîte de Pétri sur la table.
- Renseigner l'ouverture de la boîte de Pétri sur le dossier de fabrication présent.
- Renseigner la fermeture de l'ancienne boîte de Pétri et l'ouverture de la nouvelle sur le dossier de fabrication présent.
- Se désinfecter les mains.

POST-TEST 1:

Essayez, maintenant, de reproduire les deux activités de **nettoyage de la surface** et de **substitution de la boîte de Pétri**.

POST-TEST 1:

Observez, maintenant, la vidéo qui vous est proposée à l'ordinateur. Signalez les erreurs qui vous semblent avoir été commises par les personnages.

Merci pour votre collaboration !

Protocole de test traditionnel

Test N°	
Date	
Sexe	
Âge	
Usage TIC	

Cher collaborateur,

Merci d'avoir accepté d'effectuer ce test pour la finalisation de mon travail de recherche de thèse. Nous vous proposerons différentes activités que vous devriez effectuer ; elles sont détaillées dans ce document.

Ce test vous demandera environ 1 heure.

PRE-TEST :

Pre-test A)

Vous avez à disposition les suivants éléments :

- une vitre (ou un miroir) ;
- des lingettes ;
- un produit nettoyant ;
- gel hydro-alcoolique.

À l'aide de ces éléments, essayez de finaliser une procédure de nettoyage de la surface !

Pre-test B)

Vous avez à disposition les suivants éléments :

- une boîte de Pétri ;
- un stylo ;
- une boîte avec des vitres ouvrables (notre « RABS ») ;
- une table d'appoint ;
- un gel désinfectant.

À l'aide de ces éléments, essayez de finaliser une procédure de substitution de la boîte de Pétri.

TEST :

Test A)

*Dans ce document, vous trouverez toutes les informations concernant les méthodes de **désinfection des surfaces et des objets** dans le cadre d'une zone à atmosphère contrôlée. Veuillez le lire, s'il vous plaît, pour prendre connaissance des procédures plus fréquemment utilisées. L'objectif est d'apprendre comment effectuer correctement une procédure de nettoyage.*

La désinfection des zones d'atmosphère contrôlée est particulièrement importante. Elles doivent être minutieusement nettoyées, conformément à un programme écrit. Lorsque des désinfectants sont utilisés, il convient d'en employer plusieurs et de différents types. Une surveillance microbiologique régulière est nécessaire en vue de détecter tout développement de souches résistantes.

Les désinfectants et les détergents doivent être contrôlés sur le plan de la contamination microbienne ; leurs dilutions doivent être conservées dans des récipients nettoyés au préalable et ne peuvent être stockées pour une durée déterminée à moins qu'elles n'aient été stérilisées. Les désinfectants et détergents utilisés dans des zones de classe A et B doivent être stériles.

1. Surfaces

Toutes les surfaces d'une salle propre qui ne se trouvent pas au point de production ou situées près d'un flux d'air unidirectionnel sont considérées comme étant des surfaces «générales». Il convient de les nettoyer à intervalles réguliers afin d'empêcher le transfert de contamination sur des surfaces critiques.

1.1. Surfaces des vestiaires et des sas

Les surfaces des vestiaires et des sas peuvent se retrouver fortement contaminées du fait du niveau élevé d'activité. Un nettoyage fréquent est nécessaire pour minimiser le niveau de contamination et réduire le transfert de contamination dans la salle propre.

1.2. Nettoyage de base

Maintenir la propreté de la salle propre représente un ensemble de tâches méticuleuses. Il convient de définir des niveaux de nettoyage et d'élaborer les méthodes de base pour atteindre ces niveaux. Les méthodes approuvées peuvent ensuite être mises en œuvre pour chaque surface dans la salle propre afin d'atteindre le résultat souhaité.

L'action de nettoyage peut être divisée en trois catégories différentes selon l'état actuel et la propreté souhaitée de la surface à l'issue de son nettoyage. Ces catégories sont grossier, intermédiaire et de précision et elles sont décrites ci-après:

- **Le nettoyage grossier** implique l'élimination des particules de contamination grossières, normalement de diamètre supérieur à 50 µm. La contamination à cette échelle se trouve habituellement au sol et elle est caractéristique du type de contamination amenée dans les vestiaires et les sas. Les matériaux cassés ou renversés provenant de l'activité de production ou du procédé constituent des sources supplémentaires d'une contamination qui finit par se retrouver sur les surfaces de travail ou au sol. Les activités de construction et de maintenance du matériel souvent peuvent également générer une contamination particulière grossière.

- **Le nettoyage intermédiaire** implique l'élimination de particules de contamination de diamètre inférieur, habituellement compris entre 10 µm et 50 µm. Le nettoyage intermédiaire est effectué sur les surfaces générales de la salle propre; il est généralement associé aux parois, aux bancs et aux couloirs propres. La contamination à cette échelle reste après avoir effectué le nettoyage grossier. Le nettoyage intermédiaire constitue le niveau suivant de propreté.
- **Le nettoyage de précision** est nécessaire pour éliminer les particules de contamination qui restent, dont le diamètre est généralement inférieur à 10 µm. Le nettoyage de précision est généralement employé sur des surfaces de travail critiques ou à proximité, là où le produit est entreposé ou traité.

1.3. Nettoyage liquide

Les méthodes de nettoyage liquide, qui consistent à appliquer un liquide sur une surface puis à le retirer par des méthodes d'essuyage ou d'aspiration, peuvent être employées à tous les stades du nettoyage. Les méthodes de nettoyage liquide sont les suivantes:

- **Le brossage** est une méthode de nettoyage grossier qui emploie des méthodes automatisées ou manuelles pour éliminer les taches ou les zones fortement souillées. Il convient de veiller à maîtriser toute contamination qui peut être générée par du matériel ou les matières utilisées au cours du brossage. Le brossage est suivi des procédures de balayage humide ou d'aspiration humide.

Le balayage humide est une méthode efficace de nettoyage grossier ou intermédiaire pour éliminer la contamination. Le balayage humide peut également être utilisé pour éliminer les résidus de liquides renversés, après avoir terminé l'aspiration humide. Les tissus d'essuyage humide peuvent être utilisés dans des zones petites ou très localisées. Les balais humides sont utilisés pour les sols et les autres surfaces importantes. Il convient de remplir le seau à balai avec de l'eau propre filtrée, déminéralisée ou distillée, et de la changer fréquemment afin d'éviter la contamination. Plus la surface est critique, plus il convient de changer souvent l'eau. La coloration de l'eau indique qu'il convient de vider le seau, de le nettoyer et de le remplir pour le nettoyage en mode grossier. Il convient que les zones intermédiaires et critiques ne présentent que peu ou pas de coloration pendant toute l'utilisation spécifiée; il convient donc que les procédures de nettoyage de ces zones définissent la superficie maximale qu'il est admis de nettoyer avant de changer l'eau. Des systèmes à deux (ou plus) seaux peuvent être utilisés pour réduire la fréquence de changement de l'eau de rinçage. Des détergents non ioniques ou des tensioactifs peuvent être ajoutés, si nécessaire. Il convient que les balais humides soient bien essorés afin d'éviter les flaques. Un balai humide permettra d'avoir une surface humide, qui séchera plus rapidement. Il convient d'utiliser une méthode systématique, avec des passages se chevauchant, de manière à garantir un nettoyage complet des surfaces au sol. Un rinçage fréquent et le retournement des faces du balai aident à éviter de re-contaminer des sections du sol déjà nettoyées. Il convient de rincer fréquemment les têtes de balai afin d'éviter la re-contamination de la tête du balai. Des balais spécialisés sont également disponibles pour éliminer la contamination de taille intermédiaire des parois et des sols (voir E.5.6).

1.4. Nettoyage humide

Les techniques d'essuyage sont utilisées dans la plupart des phases du nettoyage. L'essuyage fournit des résultats qui soutiennent la propreté intermédiaire et de précision des surfaces générales et critiques. Il convient d'humecter le tissu d'essuyage choisi avec la solution de nettoyage appropriée. La solution dépend du type de contaminant à éliminer. Il convient de toujours effectuer l'essuyage avec des passages dans un seul sens, se chevauchant, en commençant par les zones les plus critiques jusqu'aux zones les moins critiques, en suivant le sens du flux d'air unidirectionnel. Au fur et à mesure de l'essuyage, il convient de plier les tissus d'essuyage afin d'exposer une surface non

utilisée. Il convient de remplacer le tissu d'essuyage aussi souvent que nécessaire pour éviter de transférer des contaminants vers d'autres parties des surfaces de la salle propre.

1.5. Nettoyage de surfaces spécifiques

Toutes les surfaces de la salle propre peuvent se retrouver contaminées et il convient de les nettoyer à intervalles spécialement définis. Il est important que toutes les surfaces soient identifiées selon la criticité de la propreté de la surface par rapport au produit ou au procédé mis en œuvre dans la salle propre. Des techniques de nettoyage peuvent ensuite être mises au point et spécifiées afin de garantir que le niveau de propreté requis est atteint.

2. Sols et espaces sous plancher

La contamination grossière peut être éliminée d'abord par aspiration, par exemple les éclats de verre ou les fragments de produit. Il convient ensuite d'identifier les zones présentant des taches rebelles et de les traiter par des procédures de brossage préalablement déterminés. Il convient de procéder au balayage liquide ou humide du sol selon des procédures préalablement déterminées. Il convient de changer l'eau ou les solutions de nettoyage à une fréquence suffisante pour minimiser la diffusion de la contamination en solution ou en suspension au fur et à mesure de l'opération de nettoyage. Il convient de partager les surfaces au sol importantes en des segments plus facilement gérables afin que le travail puisse être effectué de manière méthodique. Il convient de débiter le nettoyage dans les zones critiques et de le poursuivre par les zones générales, mais certaines applications en salle propre peuvent exiger une pratique différente. La répétition de la procédure de balayage humide produira des surfaces plus propres si des niveaux de propreté supérieurs sont exigés.

Pendant les heures opérationnelles, il peut être nécessaire de délimiter la zone et de dévier la circulation afin d'éviter des chutes dangereuses du personnel non vigilant. Un balayage humecté ou une aspiration des liquides après le balayage humide accélérera le processus de séchage.

Des systèmes de lavage/brossage suivis d'une aspiration des liquides peuvent être utilisés pour éliminer les taches rebelles et les taches au sol.

3. Parois, portes, grilles de reprise, vitrages et surfaces verticales

Dans les salles propres à flux d'air unidirectionnel, il convient de ne jamais nettoyer les surfaces en amont de l'exposition au produit en cours d'activité. Il convient de nettoyer les surfaces en amont uniquement dans l'état au repos ou après que les produits ont été évacués de la zone ou recouverts. Il convient d'éliminer la contamination à l'aide de méthodes d'essuyage ou de balais à usage particulier ou à rouleaux. Il convient de choisir la méthode sur la base de l'état de propreté souhaité et de la configuration de la zone nettoyée. Dans les salles propres à flux d'air non unidirectionnel, il convient de ne pas nettoyer les surfaces au cours des opérations normales.

4. Plafonds, diffuseurs et luminaires

Il convient de ne pas nettoyer les plafonds et les autres éléments fixes en amont ou à proximité des zones de travail «en activité» mais d'attendre l'état «au repos». Il convient d'essuyer soigneusement les diffuseurs et les grilles de plafond à l'aide de techniques de nettoyage humide. Certains diffuseurs peuvent devoir être retirés pour être lavés ou remplacés. Il convient d'essuyer soigneusement les luminaires à chaque changement d'ampoule.

5. Tables et autres surfaces horizontales critiques

Il convient de nettoyer les tables et les autres surfaces horizontales critiques au moyen des techniques d'essuyage appropriées décrites ci-dessus. Des solutions de nettoyage acceptables peuvent être utilisées pour aider à éliminer la contamination. Des tissus d'essuyage humectés peuvent être utilisés pour éliminer la contamination, en travaillant par passages unidirectionnels à partir de la zone la plus critique pour aller vers la zone la moins critique.

6. Sièges, mobilier et échelles de salle propre

Essuyer les surfaces des sièges, du mobilier et des échelles du haut vers le bas. Inclure les coussins, les structures de support et les roulettes, le cas échéant.

7. Matériel fixe

Il convient de nettoyer les surfaces du matériel fixe en fonction du risque pour la salle propre et pour les produits. Il est important de noter que les canalisations, les câblages électriques et les connexions alimentent souvent du matériel fixe. Il faut être extrêmement prudent afin d'éviter d'endommager ou de débrancher les canalisations ou les câblages au cours de l'opération de nettoyage.

Le matériel fixe comporte souvent des surfaces qui sont critiques pour la propreté du produit ou du procédé. Il convient de classer ces surfaces de manière à pouvoir établir un programme de nettoyage adapté à chaque type de surface. Il convient de réaliser une évaluation soigneuse des surfaces suivantes afin de garantir un nettoyage efficace:

a) Les surfaces extérieures du matériel fixe sont communes à l'environnement de la salle propre. Il convient de nettoyer ces surfaces conformément aux procédures établies pour les parois ainsi que pour les surfaces horizontales et verticales.

b) Les surfaces intérieures sont constituées des parois intérieures du matériel fixe et des mécanismes contenus dans du matériel. Les parois intérieures entourent souvent le produit critique ou les zones critiques du procédé. Le nettoyage de ces surfaces ne peut souvent pas intervenir tant que les produits ou éléments du procédé ne sont pas retirés du matériel. Ces surfaces peuvent également se retrouver contaminées par les résidus du produit ou du procédé, ce qui impose de prendre en considération des questions particulières de sécurité avant le nettoyage. Il convient de procéder à la maintenance et au nettoyage des mécanismes contenus dans du matériel de manière périodique et conformément aux spécifications des fabricants, tel que décrit en D.5.

c) Les surfaces critiques du matériel fixe sont les surfaces situées le plus près des produits ou des procédés contenus dans du matériel ou entourés par celui-ci et le nettoyage de ces surfaces ne peut pas être fait en présence du produit ou du procédé. Il convient d'élaborer et de spécifier des procédures et des programmes de nettoyage puis de les mettre en œuvre conformément aux exigences de propreté du produit et du procédé.

8. Chariots et diables

Il convient de nettoyer à l'aspirateur les chariots et les diables ou de les essuyer, ou les deux, à l'aide de tissus d'essuyage, en commençant par le haut pour descendre vers le bas et en utilisant des solutions de nettoyage acceptables dans un sas approprié ou une autre zone non critique. Il convient de veiller particulièrement à ce que les surfaces roulantes des roulettes soient indemnes des débris qui peuvent se déposer sur le sol de la salle propre. Le fait de faire rouler les chariots ou les diables sur des tapis adhésifs peut contribuer à éliminer ces débris des roulettes.

9. Surfaces de traitement dangereuses

Il convient d'élaborer des procédures afin de neutraliser les dangers existants avant de commencer les procédures de nettoyage normales en salle propre.

10. Bancs de transfert, armoires pour fournitures et tenues de salle propre, casiers et autres surfaces compartimentées.

Un nettoyage par aspiration suivi d'un essuyage éliminera de manière efficace la contamination des surfaces exposées. Il convient de vider régulièrement les compartiments pour en nettoyer l'intérieur.

11. Poubelles et conteneurs

Les poubelles et les conteneurs peuvent recevoir un sac en plastique comme doublure interne afin de faciliter l'enlèvement des déchets et de protéger les surfaces du récipient. Il convient d'enlever les déchets avant que ceux-ci n'atteignent des volumes excessifs. Il convient de ne jamais enlever de sacs en plastique ou de sac poubelle à proximité de zones critiques. Il convient de déplacer les poubelles vers des zones générales, non critiques, avant d'en enlever les déchets. Cela peut être fait au fur et à mesure des besoins ou à la fin de chaque équipe. Il convient de vider les poubelles, de les nettoyer et de mettre un nouveau sac ou une nouvelle doublure, si nécessaire, avant de les remettre en service.

12. Tapis de salle propre et revêtements de sol adhésifs

Il convient de procéder au nettoyage ou à la maintenance des tapis de salle propre et des revêtements de sol adhésifs à intervalles réguliers au cours de la journée de travail normale.

Il convient d'entretenir les tapis de salle propre et les revêtements de sol adhésifs selon les instructions du fabricant, aussi souvent que nécessaire. Il convient de nettoyer fréquemment les tapis à surface renouvelable. Après un balayage mouillé, une raclette en caoutchouc est utilisée pour ramener la contamination et l'eau vers le bord afin ensuite de les assécher. Un aspirateur à liquides muni d'une raclette peut également être utilisé à cet effet.

Les tapis à surfaces adhésives renouvelables sont nettoyés en soulevant doucement chacun des quatre coins et en enroulant le film vers le centre du tapis jusqu'à décoller cette couche.

Test B)

*Dans ce document, vous trouverez toutes les informations concernant les méthodes d'**utilisation de la boîte de Pétri** dans le cadre d'une zone à atmosphère contrôlée. Veuillez le lire, s'il vous plaît, pour prendre connaissance des procédures plus fréquemment utilisées. L'objectif est d'apprendre comment effectuer le remplacement d'une boîte de Pétri comme vous venez de la faire toute à l'heure.*

Une **boîte de Pétri** est une boîte cylindrique translucide peu profonde, en verre ou en plastique, munie d'un couvercle.

Facilement manipulable, empilable et peu coûteuse, elle est utilisée en microbiologie pour la mise en culture de micro-organismes, de bactéries ou de cellules d'organismes supérieurs. À l'intérieur de celle-ci un milieu de culture est présent. Ceci est indispensable pour que les particules, micro-organismes présents dans l'air s'y déposent.

Elle est placée dans la machine pendant le processus de fabrication pour s'assurer que l'environnement qui enveloppe la machine n'est pas contaminé.

La boîte de Pétri doit être changée régulièrement et normalement ne doit jamais être laissée en exposition pour un temps supérieur à 4 heures. Il est nécessaire qu'elle soit changée en occasion des changements d'équipe.

Chaque manipulation de la boîte doit être documentée sur la boîte même et sur le dossier de fabrication finalisé à la délibération du lot

La procédure de substitution de la boîte de Pétri consiste en un ensemble de tâches qui doivent être respectées scrupuleusement.

Plusieurs boîtes de Pétri sont disponibles dans la machine lors du démarrage de la session de production. L'opérateur doit s'assurer qu'elles sont bien présentes dans la machine. En-cas contraire, l'opérateur doit se préoccuper de récupérer des nouvelles boîtes de Pétri, non sans avoir contrôlé leur intégrité au préalable.

Procédure d'installation d'une boîte de Pétri au démarrage de la session de production

- Se désinfecter les mains.
- Ouvrir les vitres du RABS qui enveloppe la machine.
- Vérifier l'intégrité de la boîte de Pétri que l'on veut installer.
- Renseigner l'heure d'ouverture sur le couvercle de la boîte de Pétri encore fermée.
- Ouvrir la boîte de Pétri. Bien s'assurer que le couvercle est posé à l'horizontale avec le fond vers le haut.
- Refermer les vitres du RABS qui enveloppe la machine.
- Se désinfecter les mains.
- Renseigner l'ouverture de la boîte de Pétri sur le dossier de fabrication présent.

Procédure de substitution d'une boîte de Pétri en cours de session de production

- Se désinfecter les mains.
- Ouvrir les vitres du RABS qui enveloppe la machine.
- Fermer la boîte de Pétri ouverte dans la machine.
- Annoter l'heure de fermeture de la boîte de Pétri.
- Prendre une autre boîte de Pétri et l'installer à la place de celle qui a été refermée.
- Annoter l'heure d'ouverture sur le couvercle de la nouvelle boîte de Pétri encore fermée.
- Ouvrir la boîte de Pétri. Bien s'assurer que le couvercle est posé à l'horizontale avec le fond vers le haut.
- Prélever l'ancienne boîte de Pétri fermée.
- Refermer les vitres du RABS qui enveloppe la machine.
- Poser la boîte de Pétri sur la table.
- Renseigner l'ouverture de la boîte de Pétri sur le dossier de fabrication présent.
- Renseigner la fermeture de l'ancienne boîte de Pétri et l'ouverture de la nouvelle sur le dossier de fabrication présent.
- Se désinfecter les mains.

ANNEXES

POST-TEST 1:

Essayez, maintenant de reproduire les deux activités de **nettoyage de la surface** et de **substitution de la boîte de Pétri**.

POST-TEST 1:

Observez, maintenant, la vidéo qui vous est proposée à l'ordinateur. Signalez les erreurs qui vous semblent avoir été commises par les personnages.

Merci pour votre collaboration !

Grille d'observation utilisée au Pré- et Post- Test

Nettoyage surface – PRE-TEST A	
1_ Désinfection des mains avant de commencer la procédure	
2_ Prendre la lingette	
3_ Pulvériser le produit désinfectant sur la surface	
Exécuter la procédure de nettoyage	
4_ → De gauche vers la droite	
5_ → Du haut vers le bas	
6_ Opération faire 3 fois de suite	
7_ Désinfection des mains après l'exécution de la procédure	

Substitution Boite de Pétri – PRE-TEST B	
1_ Désinfection des mains avant de commencer la procédure	
2_ Ouverture de vitres du RABS	
3_ Fermeture de la boite de Pétri	
4_ Annotation de l'heure de fermeture de la boite de Pétri	
5_ Installation de la nouvelle boite de Pétri à la place de l'ancienne	
6_ Annotation de l'heure d'ouverture de la nouvelle boite de Pétri (encore fermée)	
7_ Ouverture de la nouvelle boite de Pétri	
8_ Positionnement correcte du couvercle de la boite de Pétri (fond vers le haut)	
9_ de l'ancienne boite de Pétri	
10_ Fermeture des vitres de la machine	
11_ Positionnement le l'ancienne boite de Pétri sur la table	
12_ Renseignement de l'heure de fermeture de la boite de Pétri	
13_ Se désinfecter les mains	

ISALEM-97

Test des Styles d'apprentissage ISALEM-97

Consignes primordiales pour que votre test soit valable

Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses, ni une réponse "plus intelligente" que les autres.

Pour chacune des 12 situations, il faut :

- mettre un chiffre dans les **4** cases (de 1 à 4)
- utiliser chaque fois un chiffre **différent**
- utiliser les quatre chiffres

Signification des chiffres :

1 correspond à **TOUT À FAIT MOI**

2 correspond à souvent moi

3 correspond à parfois moi

4 correspond à **RAREMENT MOI**

Il faut répondre le plus spontanément possible.

Il faut répondre à toutes les questions.

Exemple :

Quand j'ai une petite faim,	
2	a) je patiente jusqu'à l'heure du repas
4	b) je mange ce que j'avais prévu
3	c) je me débrouille
1	d) je prends ce qui me tombe sous la main

Lorsque vous aurez répondu aux 12 items, vous devrez :

1) transcrire les réponses dans la grille de décodage. **Attention à la correspondance "lettre - chiffre" !!!**

2) calculer les valeurs Ab, R, Ac et I.

3) effectuer les deux soustractions I - Ab et Ac - R (sans oublier les correctifs).

4) reportez les deux valeurs, ainsi obtenues, sur les axes correspondants.

Le point, ayant pour coordonnées ces deux valeurs, donne votre style préférentiel. Vous pourrez alors lire le descriptif de votre style d'apprentissage préférentiel.

Durée : environ 20 minutes

1. Quand j'utilise un nouvel appareil,

- a) j'analyse soigneusement le mode d'emploi et j'essaie de bien comprendre le fonctionnement de chaque élément.
- b) je procède par essais et erreurs, je tâtonne.
- c) je me fie à mes intuitions ou je demande à un copain de m'aider.
- d) j'écoute et j'observe attentivement les explications de celui qui s'y connaît.

2. En général, face à un problème,

- a) je prends tout mon temps et j'observe.
- b) j'analyse rationnellement le problème, j'essaie de rester logique...
- c) je n'hésite pas, je prends le taureau par les cornes et j'agis.
- d) je réagis plutôt instinctivement; je me fie à mes impressions ou à mes sentiments.

3. Pour m'orienter dans une ville inconnue lorsque je n'ai pas mon GPS,

- a) je me fie à mon intuition, je "sens" la direction générale. Si cela ne va pas, j'interpelle quelqu'un de sympathique...
- b) j'observe calmement et attentivement. J'essaie de trouver des points de repère.
- c) je me repère rationnellement ; de préférence, je consulte une carte ou un plan.
- d) l'important pour moi, c'est de réagir rapidement : parfois je demande, parfois j'essaie un itinéraire, quitte à faire demi-tour...

4. Si je dois étudier un cours,

- a) j'essaie surtout de faire des exercices et de découvrir des applications pratiques.
- b) je décortique soigneusement la matière : j'analyse et je raisonne.
- c) je prends mon temps, je lis et relis attentivement la matière.
- d) j'aime travailler avec des amis et je m'attache à ce qui me paraît important.

5. Quand je dois faire un achat important, pour choisir,

- a) j'observe, j'écoute les avis et les contre-avis, je prends tout mon temps.
- b) je fais confiance à mon intuition.
- c) j'essaie de calculer le meilleur rapport qualité-prix (au besoin je consulte une revue spécialisée).
- d) ce qui m'intéresse, c'est d'abord de faire un essai, je n'achète pas un chat dans un sac.

6. Le professeur qui me convient le mieux est quelqu'un

- a) qui expose sa matière avec rigueur, logique et précision.
- b) qui fait agir ses étudiants aussi souvent que possible.
- c) qui, avant tout, fait appel à l'expérience vécue des étudiants.
- d) qui a le souci de faire observer et réfléchir avant d'agir.

7. Pour apprendre une langue étrangère, je préfère

- a) lire et écouter pour bien m'imprégner de la langue.
- b) étudier un vocabulaire de base et un minimum de grammaire avant de me lancer dans une conversation.
- c) me plonger dans la pratique et parler le plus tôt possible !
- d) improviser : tout dépend de la langue, de mes rencontres et de mon état d'esprit...

8. Pour préparer un exposé,

- a) je le construis en fonction de mon public. S'il le faut, j'improvise sur place.
- b) je répète seul ou en petit comité.
- c) je m'inspire d'exemples que j'ai pu observer et apprécier.
- d) je construis une structure logique, une analyse et une synthèse.

9. Pour passer de bonnes vacances,

- a) je me décide rapidement, je prépare mes bagages ou mon matériel et je fonce.
- b) je rassemble une solide documentation, je pèse le pour et le contre et je choisis en connaissance de cause...
- c) j'aime voir sur place et risquer un peu d'imprévu.
- d) j'hésite à me décider, j'ai besoin d'avis, de témoignages ...

10. Si je dois lire un livre difficile,

- a) j'analyse la table des matières ... J'essaie d'assimiler chaque élément avant de passer au suivant.
- b) je commence par le parcourir pour mieux le "sentir" et pour voir si cela vaut la peine d'insister...
- c) je recherche surtout les exemples, les aspects concrets et les applications.
- d) je ne me presse pas, je demande parfois des avis, des appréciations.

11. Si je dois préparer un bon petit plat,

- a) je m'adresse à quelqu'un qui s'y connaît et je l'observe.
- b) j'analyse la recette ; il faut de la rigueur et de la précision.
- c) je me fie plutôt à mon expérience et à mon coup d'œil ...
- d) je me lance, je tâtonne, je goûte ... Je mets tout de suite la main à la pâte.

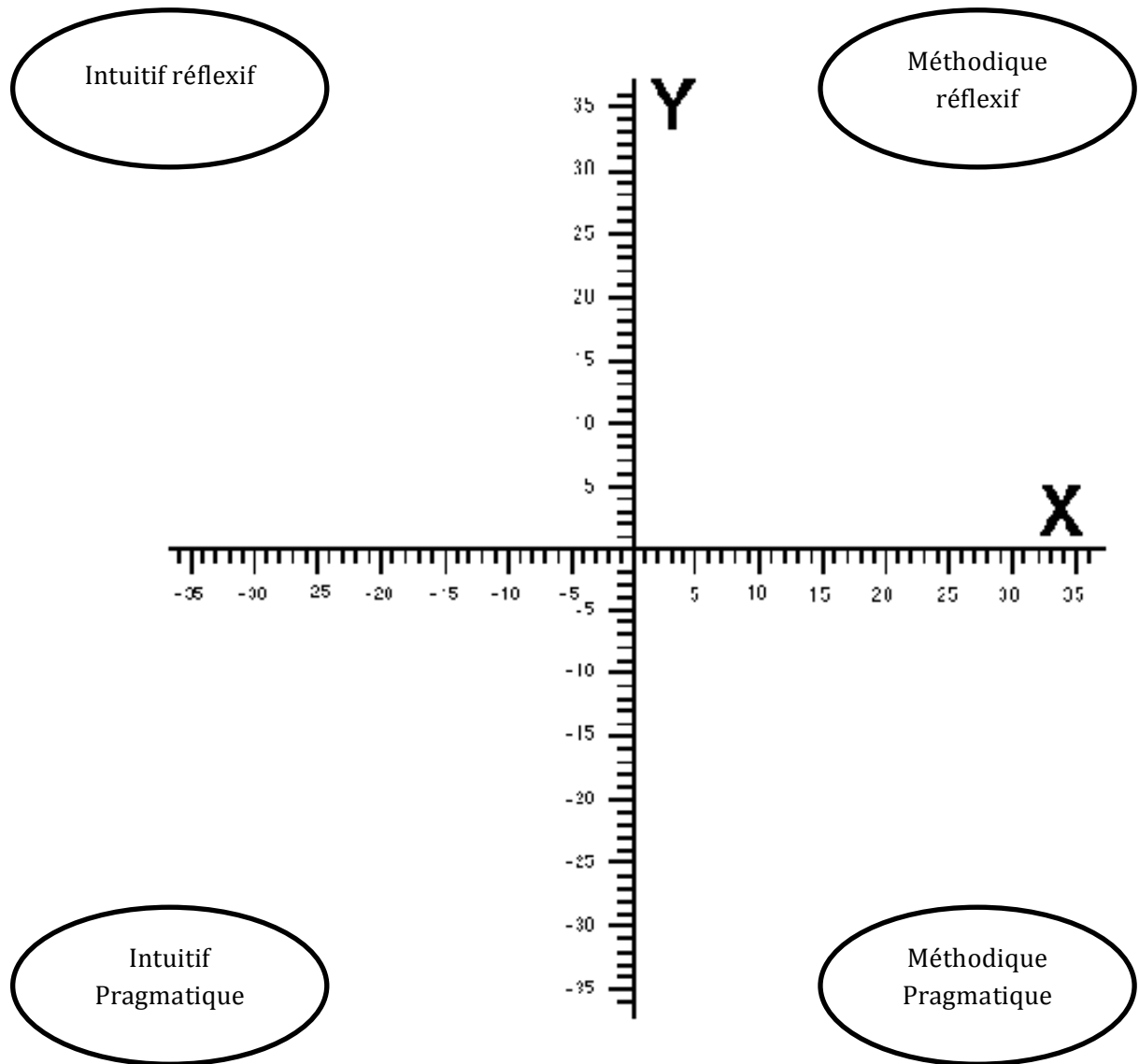
12. Pour choisir une profession,

- a) le mieux c'est d'essayer en faisant un stage.
- b) Pour moi, le plus important est de se fier à ses intuitions et à ses relations.
- c) l'idéal est d'observer les professionnels sur le terrain et de solliciter leurs témoignages.
- d) l'essentiel est d'analyser tous les éléments, par exemple les aptitudes, les débouchés, les salaires...

ANNEXES

Question 1	c ☐	a ☐	b ☐	d ☐
Question 2	d ☐	b ☐	c ☐	a ☐
Question 3	a ☐	c ☐	d ☐	b ☐
Question 4	d ☐	b ☐	a ☐	c ☐
Question 5	b ☐	c ☐	d ☐	a ☐
Question 6	c ☐	a ☐	b ☐	d ☐
Question 7	d ☐	b ☐	c ☐	a ☐
Question 8	a ☐	d ☐	b ☐	c ☐
Question 9	c ☐	b ☐	a ☐	d ☐
Question 10	b ☐	a ☐	c ☐	d ☐
Question 11	c ☐	b ☐	d ☐	a ☐
Question 12	b ☐	d ☐	a ☐	c ☐
Total de chaque colonne :	☐ I	☐ Ab	☐ Ac	☐ R

Valeurs à reporter sur les axes	Formule	Formule
Si vous avez moins de 18 ans (enseignement secondaire)	$I - Ab - 2 = X$	$Ac - R - 2 = Y$
Si vous avez plus de 18 ans (ens. supérieur et adultes)	$I - Ab - 8 = X$	$Ac - R - 5 = Y$



DESCRIPTION DES STYLES D'APPRENTISSAGE

intuitif réflexif Vous excellez à considérer une situation sous des angles très variés. Votre réaction initiale est plutôt d'observer que d'agir. Vous appréciez les situations qui nécessitent un foisonnement d'idées comme, par exemple, lors d'un "brainstorming". Vous avez des intérêts culturels très larges et vous aimez rassembler des informations avec éclectisme. Vos points forts Vous êtes particulièrement doué pour : • comprendre les gens; • identifier les problèmes. Vos points faibles Vous auriez tendance à : • hésiter dans vos choix; • retarder vos décisions.	méthodique réflexif Vous excellez à synthétiser un vaste registre d'informations de manière logique et concise. Vous vous centrez plus sur l'analyse des idées et des problèmes que sur les personnes comme telles. Vous êtes surtout intéressé par la rigueur et la validité des théories. Vos points forts Vous êtes particulièrement doué pour : • planifier; • créer des "modèles scientifiques"; • définir des problèmes; • développer des théories. Vos points faibles Vous auriez tendance à : • "construire des châteaux en Espagne"; • méconnaître les applications pratiques d'une • théorie.
intuitif pragmatique Vous aimez apprendre en mettant la "main à la pâte". Vous prenez plaisir à mettre en oeuvre des projets et à vous impliquer personnellement dans de nouvelles expériences que vous percevez comme des défis. Vous réagissez davantage par instinct qu'en fonction d'une analyse purement logique. Lors de la résolution d'un problème, vous aimez vous informer auprès des autres avant de procéder à vos propres investigations. Vos points forts Vous êtes particulièrement doué pour : • réaliser des projets; • diriger; • prendre des risques. Vos points faibles Vous auriez tendance à : • agir pour agir; • vous disperser.	méthodique pragmatique Vous excellez à mettre en pratique les idées et les théories. Vous êtes capable de résoudre des problèmes et de prendre des décisions sans tergiverser et en sélectionnant la solution optimale. Vous préférez vous occuper de sciences appliquées ou de technologies plutôt que de questions purement sociales ou relationnelles. Vos points forts Vous êtes particulièrement doué pour : • définir et résoudre les problèmes; • prendre des décisions; • raisonner par déduction. Vos points faibles Vous auriez tendance à : • prendre des décisions précipitées; • vous attaquer à de faux problèmes.

Adapté de D. Kolb, Learning-Style Inventory, Self-scoring inventory and interpretation Booklet, Revised Edition, 1985

Analyse des captures d'écran pour de l'exploration de LQ

Observation, description, retranscription et codage de l'activité d'exploration de LabQuest :
TEST 1

	Mes interventions
	Les commentaires du sujet
	Mes interprétations
	Explications du sujet post-test

AT	→ acquisition de l'artefact technique
AP	→ acquisition pédagogique
AD	→ acquisition artefact didactique

Tutoriel		
« Ceci est une pièce d'entraînement »	- Elle essaye de cliquer partout dans l'écran pour pouvoir interagir avec les objets. - Puis elle comprend qu'elle doit cliquer sur « play » pour continuer le tutoriel.	AT - AT +
« Glissez votre souris vers le bord de l'écran pour regarder vers la gauche ou vers la droite »	Elle pointe le curseur tout à droite et elle fait un tour de 360°. Puis elle essaye de continuer l'exploration en cliquant au milieu de la pièce d'entraînement. Elle essaye de cliquer sur les flèches vertes présentes sur l'écran. Je lui dis alors qu'elle doit regarder aussi de l'autre côté pour pouvoir avancer dans le tutoriel. Elle positionne le curseur sur la partie gauche et elle fait encore une fois un tour de 360°. Dans l'entretien post-test, elle nous dira qu'elle s'attendait à que à un moment donné l'écran vert disparaît.	AT + AT - (elle ne suit pas la consigne du tutoriel) AT +
« Glissez votre souris vers le bord de l'écran pour regarder en haut et en bas »	- Même s'elle vient de faire la même chose pour l'écran précédent elle fait la même erreur de cliquer sur la flèche et non pas dans les zones vertes en haut et en bas. Il suffit que je lui dise « tu te souviens ? » et elle fait l'action correctement elle dit « ah, ok » et moi « et puis tu peux regarder vers le bas ». Elle le fait. - Une fois faite cette étape elle ne comprend pas que le « play » clignotant, en bas à droite de la bande de tutoriel, sert pour passer à la phase successive. Après quelque hésitation elle arrive à comprendre quand même.	AT - (rappel de la bonne action rapide) AT + AT +
« Maintenez la touche flèche « haut » appuyée pour marcher »	- Elle avance, et elle va à droite et à gauche, de façon correcte. « Ah génial, je suis là » elle se regarde dans le miroir. - Elle demande « et pourquoi il sont jaunes ? » elle fait référence aux objets présents dans la pièce. Je réponds « tu le verra par la suite ». - Elle n'a toujours pas avancé dans le tutoriel et elle se promène dans la pièce, j'ai le soupçon qu'elle ne se rappelle plus qu'elle doit cliquer sur le « play » pour passer à la phase d'après, donc je lui rappelle cela. - Je vais lui rappeler comment regarder droite et	AT + → naturalisation de l'exploration AP +

ANNEXES

	gauche et puis je lui demande d'avancer dans le tutoriel.	
« Appuyez sur la flèche « bas » de votre clavier pour reculer le personnage »	Elle a compris la consigne, l'action a été faite correctement.	AT -
« Les objets entourés d'une lumière jaune sont hors de portée. Vous devez vous en approcher pour pouvoir les actionner »	Elle clique sur le gel hydro-alcoolique pour la désinfection des mains alors qu'il est jaune. Elle demande « comment je peux faire » car elle n'arrive pas à comprendre comment il faut qu'elle avance. Elle dit « ah ! en fait cela c'est juste des instructions »	AT - AT +
« Les objets entourés d'une lumière verte peuvent être actionnés »	- Je lui dis, « tu peux toucher les verts, mais tu ne peux pas toucher les jaunes ». Elle clique sur le gel désinfectant et l'actionne. - Puis elle essaye de cliquer sur le spray désinfectant, mais bien évidemment cela n'est pas une action possible car il faut suivre le tutoriel.	AT + AT - AT +
« Cliquer sur le gel désinfectant »	Elle comprend exactement la consigne	AT -
« Cliquez sur le spray en main et choisissez l'action « désinfecter ». le spray sert uniquement à désinfecter les objets »	Elle comprend exactement la consigne	AT +, AP +
« Faites glisser le spray sur le tabouret »	Elle comprend exactement la consigne	AT +, AP -
« Testez les possibilités offerte par les objets sur les étagères. Vous devrez vous en servir plus tard. »	Elle clique plusieurs fois sur la sachet des bouchons. Puis elle la repose. Puis elle clique sur la BDP. Elle reprend une autre BDP pour la reposer sur un autre endroit de l'étagère <i>drag n drop</i>. Je l'incite à passer à la phase d'après.	AT +, AP +
« Pour habiller et déshabiller votre personnage, cliquez sur l'icône personnage et haut à gauche de l'écran »	- Le <i>drag n drop</i> semble être un peu difficile. La veste se positionne sur le crochet. - Elle essaye de reprendre la deuxième veste (marron-rouge) et de la remettre sur elle. - Puis elle reprend la veste qui se positionne dans le rond et la remet sur le crochet. Puis elle la remet sur elle.	Difficulté AT « drag n drop » AT - AT +, comportement naturalisé. Accès à l'AP +
« Refermez le volet de votre personnage »	Elle comprend exactement la consigne	AT +, comportement naturalisé. Accès à l'AP -
« Cliquez sur le plan de la zone de production »	Elle comprend exactement la consigne. Je lui explique que cela est la zone de production. « ceci est le parcours que tu devra faire pour arriver dans la salle » elle dit « ah oui ».	AT +, comportement naturalisé. Accès à l'AP -
« Cliquez sur ce bouton pour reprendre le contrôle de votre personnage »	Elle comprend exactement la consigne	AT +, comportement naturalisé. AP +
« Une version miniature du plan est affichée en permanence en haut à droite de l'écran »	Elle avance. Elle comprend exactement la consigne	AT +, comportement naturalisé. l'AP+
« Vous pouvez continuer à vous entraîner ou passer à l'étape suivante en actionnant la porte »	Je dis « tu peux y aller là ». elle comprend exactement la consigne.	AT +, comportement naturalisé. Accès à l'AP +
« Dirigez-vous vers le registre d'entrée »	- Elle semble avoir compris les commandes qui servent à se déplacer et orienter le regard. - Elle est trop loin du registre (il a les contours jaunes) et elle essaye de cliquer dessous quand même. Elle dit « ah non ». - Elle avance. Quand la capture du regard se met	Exploration du scénario AP +. AT - —> difficulté dans le rayon d'action J/V -> AT+

ANNEXES

	en action pour le registre d'entrée elle dit « non, non ». Sur le clavier je peux observer quelle appuie sur les flèches pour diriger le personnage qui, par contre, ne peut pas être contrôlé en ce moment.	Exploration du scénario AP. (la frustration que la personne ressent quand le jeu prend le contrôle pour la capture d'écran peut signifier que l'AT est acquis)
« Cliquez sur le registre d'entrée »	• Elle comprend exactement la consigne	Compréhension AP +
« Cliquez sur les champs entourés en vert pour les compléter.	• Elle comprend exactement la consigne	Compréhension AP +
« Quittez le registre d'entrée en cliquant sur l'icone »	• Elle hésite quelque seconde, peut être pour lire le texte puis elle comprend exactement la consigne.	Compréhension AP +
« Monsieur Bleu vous attends en ZAC. Habillez-vous pour l'entrée en ZAC B et allez le rejoindre »	• Elle comprend exactement la consigne	Compréhension AP +
Fin du tutoriel et début de la formation		
PANNEAU LAVAGE MAINS	• Elle ne l'ouvre pas	-
Visuelle dans la pièce NC. Lavabo-PIN	• Je lui dis « tu vois ce PIN, tu dois cliquer dessous pour accéder aux informations ». Elle clique sur le PIN et elle prend le temps pour le lire. • Elle clique sur le lavabo. • Elle clique sur le savon • Elle clique encore sur le lavabo • Elle me demande « pourquoi ils s'activent les deux même si je clique un seul » je lui explique « une fois c'est le nettoyage, l'autre c'est pour la désinfection » • Elle clique sur le distributeur pour prendre les serviettes	Accès et réalisation de l'AT+ AP + Accès à l'AD (en plus elle demande pourquoi les deux objets s'activent au même moment alors qu'il s'agit de deux choses différentes) → AD +
Armoire des habits d'usine Le fait qu'il essaye de cliquer sur un objet jaune (sans s'en approcher) pourrait signifier que la personne ne t'est pas complètement approprié de l'artefact technique. Ici il y a un clair passage entre le scénario (artefact pédagogique) et l'accès à la norme (artefact didactique).	• Elle essaye d'abord de cliquer sur les objets entourés en jaune. Puis elle s'approche des objets car elle le souvient qu'il faut se rapprocher. • Elle clique sur le POI « règle d'habillage haut-bas » je lui fais remarquer que s'il veut elle peut cliquer sur l'image pour l'agrandir. • Elle dit « mmmh... je connaissais pas ça »	AT – —> difficulté dans le rayon d'action J/V → rappel de l'AT = AT+ → re-immersion dans l'AP + AD +
Système pour abandonner le POI	- Elle comprend exactement la consigne	l'AT + AP + et application directe.
Ouverture du volet « avatar » pour l'habillage	• Je lui dis « tu n'est pas déshabillée donc il faudra le faire, donc pour le faire tu retourne en arrière».	Accès et réalisation de l'AP _> AP +

ANNEXES

	Elle retourne en arrière et elle se dirige vers l'armoire des habits de ville	
Armoire des vêtements de ville Elle applique la norme (l'artefact didactique) qu'elle a apprise toute à l'heure dans le POI. Cependant elle n'a pas fait une généralisation de la norme, mais elle se limite à l'appliquer pour le t-shirt et le pantalon sans se demander ce qu'il devrait faire pour la cagoule. Effectivement elle me demande s'elle doit la mettre. Elle l'endossera en dernier.	- Elle clique sur les habits mais pour les activer mais elle ne clique pas bien dans les contours verts. - Elle fait <i>drag n drop</i> pour endosser le t-shirt - Elle fait <i>drag n drop</i> pour endosser le pantalon - Elle dit « <i>et ça aussi, la capuche ?</i> » je réponds « <i>si tu veux</i> ». Elle prend la cagoule et la fait glisser sur l'avatar. - Elle se dirige vers l'armoire des chaussures.	Difficulté AT - J/V AT+ Retour dans le AP + AD +
Armoire des chaussures Le fait de cliquer sur un objet qui n'est pas entouré de lumière (comme dans ce cas là) peut être du au fait que cet élément technique n'a pas été complètement intégré.	- Elle n'est pas bien placée devant l'armoire donc elle doit se repositionner. Elle essaye quand même de cliquer dessous (à plusieurs reprises) mais elles ne sont pas entourées d'aucune lumière. - Puis elle fait <i>drag n drop</i> des chaussures sur l'avatar et puis elle referme le volet.	Difficulté AT résolution du problème AT- > AT + → retour à l'AP + AT + AP+ AD +
Ouverture de la première porte Même si la personne a réussi à se déplacer dans l'environnement 3D, plus ou moins aisément, nous retrouvons ici une problématique d'acquisition de l'artefact technique. Il n'est pas complètement intégré et dans les moments de tension la personne se trouve en difficulté.	L'action résulte difficile pour elle. Problème de positionnement. Elle dit « <i>ahi</i> » quand la porte se referme à <i>simuler la douleur que le personnage devrait sentir s'il s'agissait de la vraie vie</i>.	Difficulté AT résolution du problème AT - → retour à l'AP + réalisme de la simulation avec un transfert émotionnelle de la réaction
Sas D. masque Problème d'utilisation de l'artefact technique. Dans ce cas là ce problème a été incrémenté par le fait qu'elle s'est sentie stressée pendant la manipulation qui était en train d'échouer.	- Elle me demande « <i>que est-ce qu'est ça ?</i> » je lui réponds « <i>un masque, mais je te conseil d'avancer dans le simulateur</i> ». - Elle fait un tour de 360° dans la pièce. Elle reste coincée dans un angle. <i>Il faut que je lui dise comment pouvoir ressortir de ce problème d'orientation</i>. Elle ouvre la porte mais elle se referme. Elle dit « <i>ah nooon</i> ». Comme avant, elle ressent une frustration de ne pas pouvoir maîtriser parfaitement la technique de déplacement.	AP + Difficulté AT → passer d'une pièce à une autre AT- > AT+
Sas C gants stériles	Elle a du mal à avancer. Elle essaye plusieurs fois. Donc il faut faire un step en arrière sur la technique pour bouger d'une pièce à l'autre. Cette manipulation prend une bonne minute. Elle dit « <i>il faut bien se rapprocher à la porte</i> ». avec cette phrase j'ai l'impression qu'elle veuille s'excuser du fait qu'elle a encore un peu du mal à bouger dans l'environnement sans hésitations.	Difficulté AT → passer d'une pièce à une autre AT- > AT+
Sad B	Je lui dis « <i>laisse tomber tout ça et on va dans la salle</i> »	
ZAC Elle se corrige toute seule en remarquant qu'elle a pas pu accéder au POI car elle était trop loin (contours de l'image était jaune)	- Elle ouvre le passe plat machine - Elle accède au POI lingette. Elle lit tout car elle déroule le texte dans son intégralité. Elle clique sur l'image pour l'agrandir. Elle dit « OK » - Elle voit POI murs, mais elle est trop loin donc elle se rappelle « <i>ah oui, je suis trop loin</i> », puis elle clique pour y accéder. Elle agrandit l'image pour la visualiser.	Accès et exploration de l'AP + Difficulté AT V/J → l'élément technique revient tout de suite

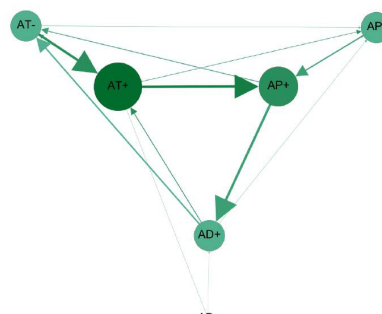
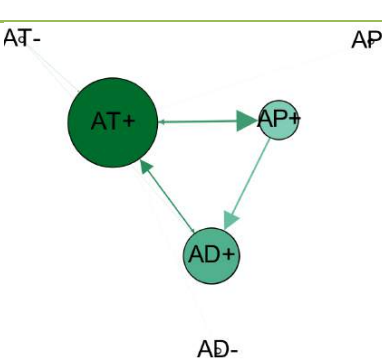
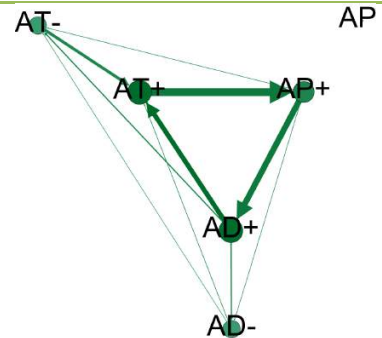
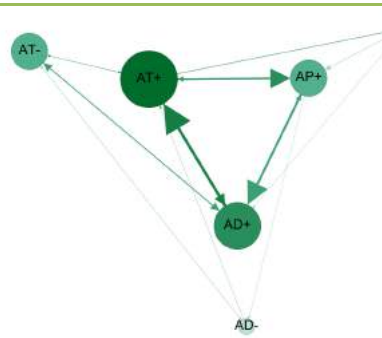
ANNEXES

	- Elle cherche le dernier et elle s'en approche sans tenter de cliquer quand il est jaune. - Elle lit la BDP mais elle déroule pas le contenu écrit elle regarde seulement l'image (agrandie) elle referme.	AT- > AT+ re-immersion dans l'AP +
Procédure BDP	- Elle a du mal à se repositionner devant la machine. - Je lui explique ce qu'elle doit faire. Je lui parle des différentes procédures l'installation et de substitution. Ensuite je lui dis que je m'attends à qu'elle fasse une substitution de BDP. - En s'approchant de la vitre de la machine elle demande « ça c'est les vitre ? ». Elle veut être sur que c'est dans cette partie de la machine qu'il y ait la BDP à substituer. - Elle s'éloigne. - Se désinfecte les mains. Elle demande « je me désinfecter les mains, dans la même salle ? » je lui réponds qu'elle peut faire ce qu'elle croit être le mieux. Elle fait l'action correctement. - Elle essaye de fermer la boîte en cliquant sur le couvercle. le couvercle n'a pas de contour, le contour est seulement sur la BDP. Je ne dis rien et je la laisse tâtonner pour trouver la solution toute seule - Puis elle prend la nouvelle BDP je ressens qu'elle n'a pas vraiment compris de quoi il s'agit et je lui dis « la c'est la nouvelle » donc elle la pose. - Enfin elle clique sur l'ancienne BDP et un menu déroulant d'ouvre. Elle ferme la BDP - Elle annote l'ancienne BDP - Elle déplace la nouvelle BDP - Elle note l'heure de la nouvelle BDP - La procédure demande d'ouvrir la BDP. Elle demande « la nouvelle ? » et moi je réponds « OUI » ! - Elle ferme la nouvelle BDP. Je lui dit qu'elle doit l'ouvrir. Elle le fait. - Elle prend en main l'ancienne et elle demande « je fais quoi après ? » - Elle clique encore sur la boîte en main car elle ne sait pas où la mettre. - Elle ferme les vitres du RABS - Elle recule et elle voit des lamelles et elle dit « je suis sortie, nooon ! » cette réaction pourrait être du au degré d'immersion qu'elle ressent. - Elle pose la BDP sur la table - Elle veut faire <i>drag n drop</i> sur le dossier ça ne marche pas. Probablement en lisant « renseigner l'ouverture de la BDP dans le dossier des opérations » elle pense de devoir faire glisser l'objet sur le dossier ? - Elle remplit le dossier en cliquant dessous. - Elle se désinfecte les mains.	AT- > AT+ l'AP + Réalisation de l'AP + AD + Elle analyse la situation pour finaliser l'activité pas à pas AT+ AP+ AD+ AP+ AD+ Difficulté technique AT AT- > AT+ Elle finalise en revenant à l'AP+ AD+

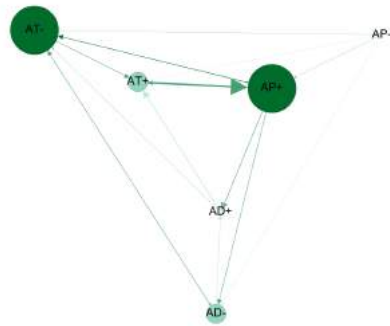
ANNEXES

Erreurs observées pendant la vidéo	
La vitre est sale	X
Les personnages mettent les flacons dans la boîte	« Bah.. »
Auto-contact masque de vision	Elle dit : « je te dis maintenant ou à la fin ». Moi : « maintenant » elle dit « j'en ai déjà vu deux : « la vitre était sale et il s'est gratté les cheveux »
Nettoyage vitre	Elle ne remarque rien
Lingette sur la table	« Il a posé la lingette sale sur la table »
Désinfection des mains	« Il met le produit sur les gants »
BDP ouverte	« Ah.. ça doit être fermée »
Pulvérisation spray dans la machine	« Ça par contre je ne sais pas si c'est bon de mettre le désinfectant directement comme ça ».
BDP contre la poitrine	X
	« Il a pris la lingette sale non ? que est ce qu'il fait ? »

Gephi et le processus d'acquisition des artefacts

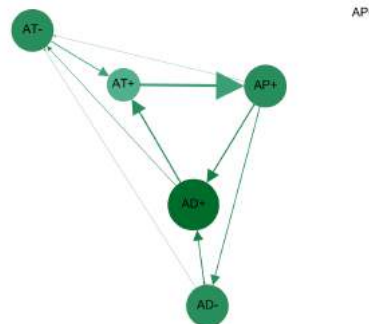
N° Test	Score Post - test	Processus acquisition artefacts	Tableau																																																	
1	16,0		<table><tr><th></th><th>AT+</th><th>AP+</th><th>AD+</th><th>AT-</th><th>AP-</th><th>AD-</th></tr><tr><th>AT+</th><td>0</td><td>10</td><td>0</td><td>2</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><th>AP+</th><td>1</td><td>0</td><td>10</td><td>3</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><th>AD+</th><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>6</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><th>AT-</th><td>10</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><th>AP-</th><td>0</td><td>5</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>AD-</th><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>		AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-	AT+	0	10	0	2	2	1	AP+	1	0	10	3	1	0	AD+	3	0	0	6	1	0	AT-	10	0	0	0	1	0	AP-	0	5	0	0	0	0	AD-	0	0	1	0	0	0
	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-																																														
AT+	0	10	0	2	2	1																																														
AP+	1	0	10	3	1	0																																														
AD+	3	0	0	6	1	0																																														
AT-	10	0	0	0	1	0																																														
AP-	0	5	0	0	0	0																																														
AD-	0	0	1	0	0	0																																														
3	20,0		<table><tr><th></th><th>AT+</th><th>AP+</th><th>AD+</th><th>AT-</th><th>AP-</th><th>AD-</th></tr><tr><th>AT+</th><td>0</td><td>12</td><td>3</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><th>AT+</th><td>4</td><td>0</td><td>10</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>AT+</th><td>8</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>AT+</th><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>AT+</th><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><th>AT+</th><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>		AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-	AT+	0	12	3	0	1	0	AT+	4	0	10	0	0	0	AT+	8	1	0	2	0	0	AT+	2	0	0	0	0	0	AT+	0	0	0	0	0	1	AT+	1	0	0	0	0	0
	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-																																														
AT+	0	12	3	0	1	0																																														
AT+	4	0	10	0	0	0																																														
AT+	8	1	0	2	0	0																																														
AT+	2	0	0	0	0	0																																														
AT+	0	0	0	0	0	1																																														
AT+	1	0	0	0	0	0																																														
5	18,0		<table><tr><th></th><th>AT+</th><th>AP+</th><th>AD+</th><th>AT-</th><th>AP-</th><th>AD-</th></tr><tr><th>AT+</th><td>0</td><td>13</td><td>3</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>AT+</th><td>2</td><td>0</td><td>10</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><th>AT+</th><td>8</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td><td>2</td></tr><tr><th>AT+</th><td>5</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>AT+</th><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>AT+</th><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>		AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-	AT+	0	13	3	1	0	0	AT+	2	0	10	1	0	1	AT+	8	1	0	2	0	2	AT+	5	0	0	0	0	0	AT+	0	0	0	0	0	0	AT+	1	0	1	1	0	0
	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-																																														
AT+	0	13	3	1	0	0																																														
AT+	2	0	10	1	0	1																																														
AT+	8	1	0	2	0	2																																														
AT+	5	0	0	0	0	0																																														
AT+	0	0	0	0	0	0																																														
AT+	1	0	1	1	0	0																																														
7	19,0		<table><tr><th></th><th>AT+</th><th>AP+</th><th>AD+</th><th>AT-</th><th>AP-</th><th>AD-</th></tr><tr><th>AT+</th><td>0</td><td>7</td><td>4</td><td>1</td><td>3</td><td>0</td></tr><tr><th>AT+</th><td>2</td><td>0</td><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><th>AT+</th><td>10</td><td>2</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>AT+</th><td>1</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><th>AT+</th><td>0</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>AT+</th><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>		AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-	AT+	0	7	4	1	3	0	AT+	2	0	8	0	0	1	AT+	10	2	0	3	0	0	AT+	1	0	3	0	0	1	AT+	0	2	1	0	0	0	AT+	1	0	0	1	0	0
	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-																																														
AT+	0	7	4	1	3	0																																														
AT+	2	0	8	0	0	1																																														
AT+	10	2	0	3	0	0																																														
AT+	1	0	3	0	0	1																																														
AT+	0	2	1	0	0	0																																														
AT+	1	0	0	1	0	0																																														

9 17,0



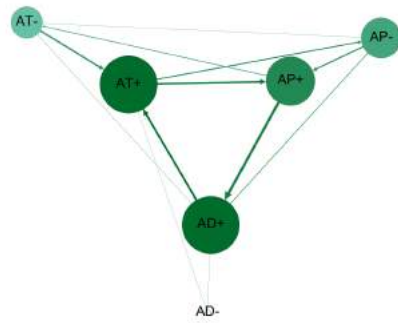
	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-
AT+	0	7	0	0	1	0
AT+	2	0	3	2	0	2
AT+	3	0	0	1	0	0
AT+	2	1	0	0	1	1
AT+	0	1	0	0	0	1
AT+	0	0	2	2	0	0

12 14,5



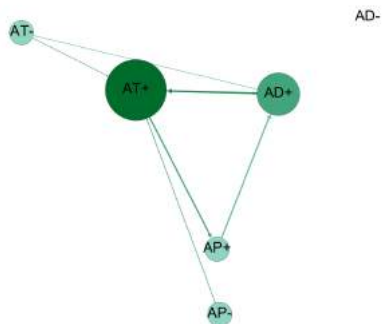
	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-
AT+	0	11	0	0	0	0
AT+	0	0	5	1	0	4
AT+	6	0	0	2	0	1
AT+	4	0	0	0	0	0
AT+	0	0	0	0	0	0
AT+	0	0	4	1	0	0

13 18,5



	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-
AT+	0	7	4	1	4	0
AT+	1	0	9	3	1	0
AT+	7	2	0	1	2	1
AT+	6	0	0	0	0	0
AT+	0	5	1	1	0	0
AT+	1	0	0	0	0	0

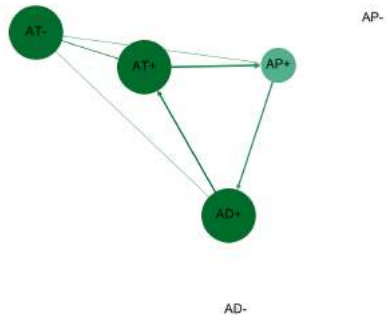
14 17,0



	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-
AT+	0	5	4	0	2	0
AT+	0	0	5	0	0	0
AT+	6	0	0	2	0	0
AT+	2	0	0	0	0	0
AT+	2	0	0	0	0	0
AT+	0	0	0	0	0	0

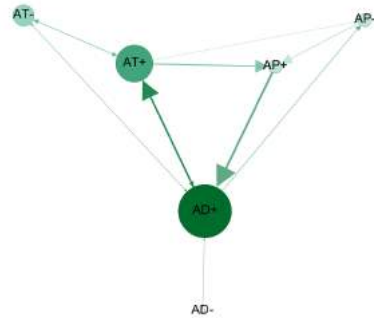
ANNEXES

16 16,0



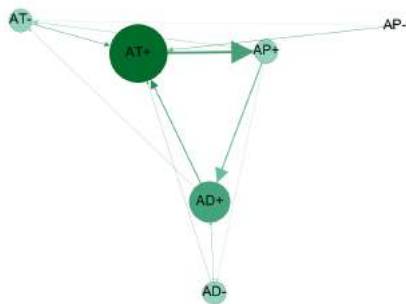
	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-
AT+	0	8	1	1	0	0
AT+	0	0	6	2	0	0
AT+	6	0	0	1	0	0
AT+	3	0	1	0	0	0
AT+	0	0	0	0	0	0
AT+	0	0	0	0	0	0

19 14,5



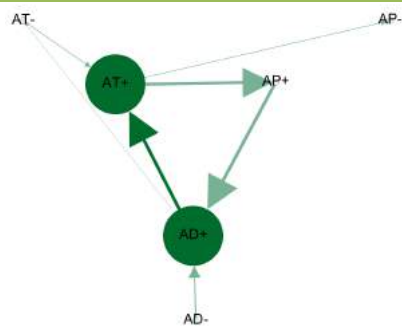
	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-
AT+	0	5	2	2	1	0
AT+	0	0	8	0	0	0
AT+	7	0	0	1	2	1
AT+	2	0	1	0	0	0
AT+	0	4	0	0	0	0
AT+	0	0	1	0	0	0

20 17,0



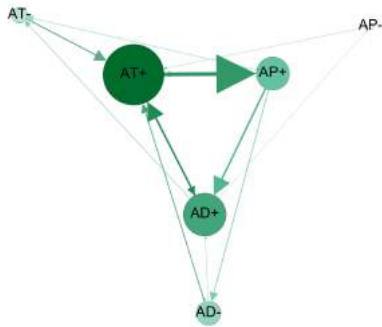
	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-
AT+	0	8	0	0	1	0
AT+	0	0	5	2	0	1
AT+	3	0	0	1	0	1
AT+	2	0	0	0	1	0
AT+	2	0	0	0	0	0
AT+	1	0	1	0	0	0

22 19,0



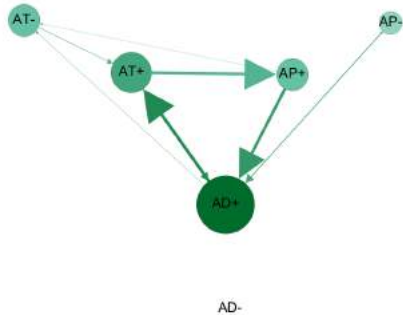
	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-
AT+	0	10	1	1	2	0
AT+	0	0	11	0	0	0
AT+	11	0	0	1	0	1
AT+	2	0	0	0	0	0
AT+	0	1	0	0	0	1
AT+	0	0	4	0	0	0

24 16,5



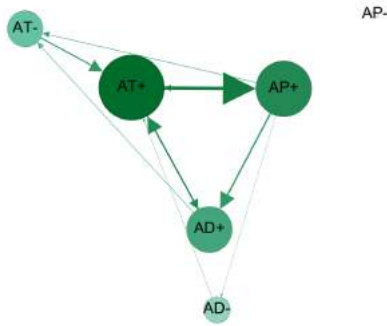
	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-
AT+	0	13	3	0	0	1
AT+	2	0	6	2	0	3
AT+	6	0	0	2	1	0
AT+	4	0	0	0	0	0
AT+	1	0	0	0	0	0
AT+	3	0	1	0	0	0

26 16,5



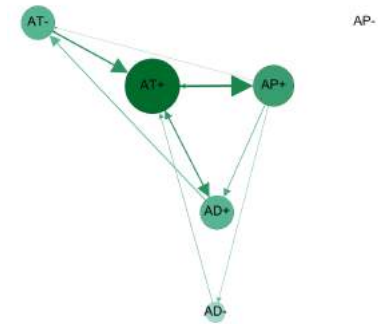
	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-
AT+	0	11	3	0	0	0
AT+	0	0	10	1	0	0
AT+	11	0	0	1	1	0
AT+	2	0	0	0	0	0
AT+	0	0	3	0	0	0
AT+	0	0	0	0	0	0

28 15,0



	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-
AT+	0	10	3	0	0	0
AT+	2	0	5	2	0	1
AT+	5	0	0	2	0	0
AT+	4	0	0	0	0	0
AT+	0	0	0	0	0	0
AT+	1	0	0	0	0	0

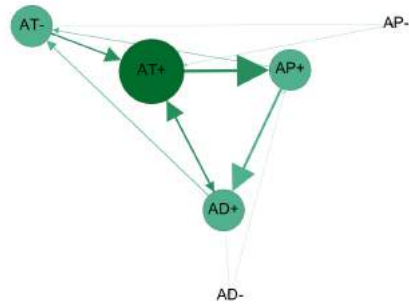
31 18,0



	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-
AT+	0	8	5	1	0	0
AT+	2	0	3	1	0	2
AT+	3	0	0	4	0	0
AT+	6	0	0	0	0	0
AT+	0	0	0	0	0	0
AT+	2	0	0	0	0	0

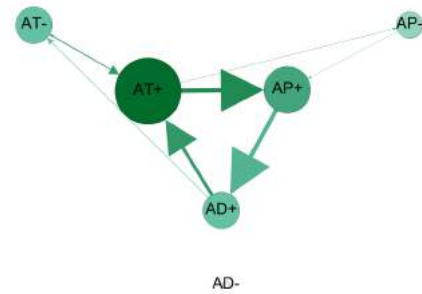
ANNEXES

33 16,0



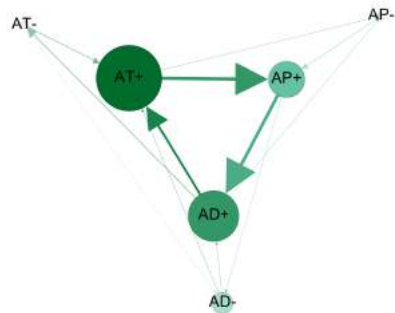
	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-
AT+	0	10	3	1	0	0
AT+	1	0	8	2	0	0
AT+	6	0	0	3	0	1
AT+	5	0	0	0	1	0
AT+	1	0	0	0	0	0
AT+	0	1	0	0	0	0

35 16,0



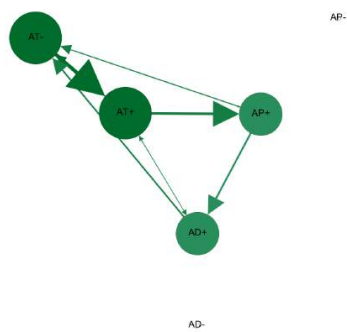
	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-
AT+	0	13	0	1	1	0
AT+	1	0	13	0	0	0
AT+	10	0	0	2	0	0
AT+	3	0	0	0	0	0
AT+	0	1	0	0	0	0
AT+	0	0	0	0	0	0

39 18,0



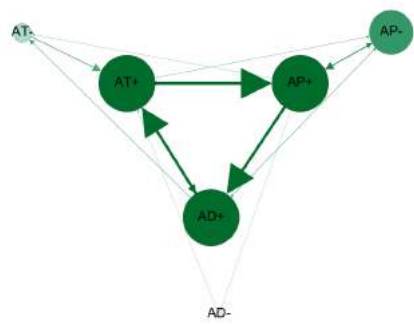
	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-
AT+	0	10	1	0	1	0
AT+	1	0	10	0	0	1
AT+	7	0	0	3	1	0
AT+	2	0	0	0	0	1
AT+	0	2	0	0	0	0
AT+	1	0	1	0	0	0

40 17,0



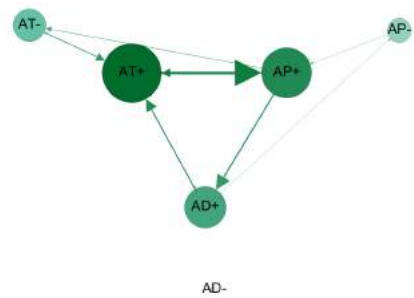
	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-
AT+	0	10	2	4	0	0
AT+	0	0	7	4	0	0
AT+	2	0	0	6	0	0
AT+	14	1	0	0	0	0
AT+	0	0	0	0	0	0
AT+	0	0	0	0	0	0

42 18,0



	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-
AT+	0	11	3	0	1	0
AT+	0	0	10	1	2	1
AT+	10	0	0	2	1	0
AT+	3	0	0	0	0	0
AT+	0	3	1	0	0	0
AT+	1	0	0	0	0	0

44 20,0



	AT+	AP+	AD+	AT-	AP-	AD-
AT+	0	9	1	1	0	0
AT+	3	0	5	2	0	0
AT+	4	0	0	0	1	0
AT+	3	0	0	0	0	0
AT+	0	1	0	0	0	0
AT+	0	0	0	0	0	0

Questionnaire de satisfaction

Quel est votre niveau de satisfaction sur chacun des points suivants :

	Très satisfait	Assez satisfait	Ni satisfait ni non satisfait	Peu satisfait	Pas du tout Satisfait
La pertinence de l'approche pédagogique (simulation)	☐	☐	☐	☐	☐
La pertinence des contenus de la formation	☐	☐	☐	☐	☐
La qualité de l'intervenant	☐	☐	☐	☐	☐
La qualité des échanges	☐	☐	☐	☐	☐
Le rythme de formation	☐	☐	☐	☐	☐
La durée de la formation	☐	☐	☐	☐	☐

Avez vous l'impression que cette formation va vous aider dans votre travail quotidien en entreprise ?

☐ Oui ☐ Non

Recommanderiez-vous ce type de formation à des collègues d'autres entreprises pharmaceutiques ?

☐ Oui ☐ Non

Choisissez trois mots-clés qui pour décrire cette expérience de formation (à chaud, sans trop y réfléchir).

-
-
-

Fiche pratique de prise en main du logiciel

Fiche pratique : Prise en main

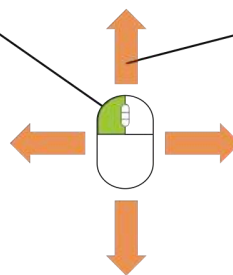


// COMMANDES

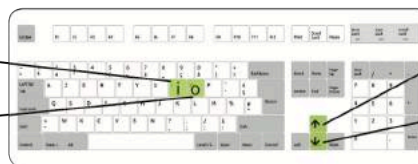


Clic gauche
pour interagir
avec les objets.

Déplacez la souris
pour regarder
autour de vous.



recommencer
un module
de formation
i
passer au
module de
formation suivant
o



↑ avancer

↓ reculer

// ECRAN

Volet d'habillage

Permet d'habiller et de déshabiller
votre personnage.

**Contenu
pédagogique****Plan**

Permet de vous situer au sein
de la zone de production.

**Mains**

Affiche les objets que vous tenez
dans vos mains.

Halo jaune

Signale que l'objet est trop éloigné.
Vous devrez vous en approcher avant
de pouvoir l'utiliser.

Liste des contenus pédagogiques présents dans le logiciel



Liste des contenus pédagogiques disponibles



Armoire des habits de ville : Problématique de contamination liée aux habits de ville.
Bancs : Sécurité incendie. Risque de sécurité au niveau des bancs.
Boîte de contact : Contrôle bactériologique de la tenue.
Boîte de Pétri : Rôle et utilisation des boîtes de Pétri.
Cascades de pression : Explication des cascades de pression.
Chariot : Rôle et utilisation des chariots.
Charlotte : Rôle et utilisation de la charlotte.
Chaussures de zone : Rôle et utilisation des chaussures de zone.
Combinaison intégrale : Rôle et fonction de la combinaison intégrale.
Contrôle de la température : Importance d'une bonne maîtrise des paramètres environnementaux.
Désinfection des mains en sas B : Cas particuliers lors de l'habillage.
Désinfection des mains en ZAC : Cas particuliers dans la zone de production.
Désinfection générale des mains : Règles générales de désinfection des mains.
Dossier de lot : Importance de la documentation. Règles d'annotation.
Douche de sécurité : Rôle et utilisation de la douche de sécurité et du rince-œil.
Échantillonnage produit : Intérêt de l'échantillonnage et méthodes de prélèvements.
Enfilage des sur-bottes : Explique où et quand enfiler les sur-bottes.
Extincteur : Lutte contre l'incendie. Utilité de placer l'extincteur derrière une vitre.
Flux aérauliques : Explication des flux aérauliques.

Flux laminaire : Intervention dans la machine et perturbations du flux laminaire.
Flux laminaire débordant : Explication de l'utilité d'un flux laminaire débordant.
Gants : Rôle et utilisation des différents types de gants.
Gestion des déchets : Méthodes de traitement et de décontamination des déchets.
Goggles : Rôle et fonction des Goggles.
Habillage du haut vers le bas : Explication de l'importance de l'habillage du haut vers le bas.
Interphone : Utilité des interphones.
Lavage des mains : Explication de l'importance d'un lavage soigné des mains.
Lingettes : Rôle et utilisation des lingettes.
Marquage au sol : Cheminement du propre au sale.
Masque de chirurgien : Rôle et utilisation du masque de chirurgien.
Miroir : Rôle des miroirs lors de l'habillage.
Monitoring environnemental : Présentation du monitoring environnemental.
Nettoyage des surfaces : Explication de l'importance d'un nettoyage et d'une désinfection corrects des surfaces.
Nettoyage des vêtements : Méthodes de nettoyage et de stérilisation des vêtements.
Nettoyage et désinfection : Explication de la différence entre un nettoyage et une désinfection.
Passe-plat : Rôle et utilisation des passe-plats.
Portes : Rôle des portes dans le cheminement du propre au sale.
Poubelle : Rôle et utilisation des poubelles.
Principes d'habillage : Importance de garder sa tenue de ZAC stérile.
RABS et isolateur : Présentation des différents types de confinement de machines.
Registre d'entrée : Utilité d'une bonne traçabilité des entrées en zone de production.
Règles d'or du comportement en ZAC : Présentation et illustration des règles d'or du comportement en ZAC.
SOP : Explication sur la composition et la raison d'être des SOP.
Spray désinfectant : Rôle et utilisation des sprays désinfectants.
Sprinkler : Rôle de protection des personnels. Conséquence d'une aspersion d'eau dans la ZAC.
Stérilisation des contenants : Présentation des différentes méthodes de stérilisation des contenants.
Sur-bottes : Rôle et utilisation des sur-bottes.
Sur-chaussures : Rôle et utilisation des sur-chaussures.
Tourbillons de particules : Explication du phénomène de particules tourbillonnantes au-dessus de la tête.
Traitement de l'air : Méthodes de traitement de l'air.
Types de bancs : Présentation des différents types de bancs.
Vêtements : Cas particuliers. Nettoyage des vêtements : Cas particuliers.
Vitre auto-cassante : Présentation des dispositifs permettant une fuite rapide en cas d'incident majeur.
Vitre du couloir : Permet de vérifier que tout va bien en ZAC et de communiquer (par gestes) d'une pièce à l'autre.

Guide Pédagogique

Guide pédagogique

À l'usage des **formateurs**



BIENVENUE DANS LABQUEST !

La manière la plus intuitive d'apprendre.

Former et évaluer les personnels de ZAC est complexe.
Les sujets à traiter sont souvent théoriques et le terrain d'opération rarement accessible.

LabQuest vous permet de vous affranchir de ces contraintes et de former vos équipes en toute facilité.
Vous allez pouvoir aborder, de manière simple et concrète, des sujets jusqu'à lors complexes à illustrer. Aider vos équipes à prendre du recul par rapport à leurs activités quotidiennes. Les amener à une bien meilleure compréhension des BPF et de l'environnement de travail « ZAC ».

Ce guide est conçu pour vous aider à rapidement prendre en main le logiciel.

Nous allons vous expliquer en quoi consiste chacun des modules de LabQuest et quels en sont les usages.
Nous vous proposerons également un recueil d'idées de formations, à proposer à des groupes d'apprenants ou en coaching individuel.
Vous y trouverez enfin un recueil d'informations pratiques, incluant la liste des objets présents dans chaque pièce de la zone de production reproduite, ainsi qu'un rappel des commandes permettant de naviguer dans l'environnement virtuel.

G. Ebelmann

Président de WhiteQuest



SOMMAIRE

A. Découverte de LabQuest :

Module Exploration
Module Observation
Module Documentation

B. 6 nouvelles manières d'enseigner les BPF

C. 26 idées de formations

Habillage
Hygiène et nettoyage
Flux
Monitoring environnemental
Documentation et traçabilité
Sécurité de la personne

Fiche pratique : Liste des objets

Fiche pratique : Prise en main

A. DÉCOUVERTE DE LABQUEST

LabQuest vous propose 3 modules différents, pouvant s'enchaîner ou être utilisés séparément.



1. Exploration

L'objectif de ce module est d'aborder les concepts théoriques et les principes généraux à la base des BPF et des méthodes de travail en ZAC.



2. Observation

L'objectif de ce module est d'aborder le comportement individuel à adopter en ZAC, ainsi que les gestes Pharma clés.



3. Documentation

L'objectif de ce module est d'aborder l'importance d'une documentation parfaite de chaque action, ainsi que les erreurs les plus fréquemment rencontrées.

1

MODULE EXPLORATION

Objectif : aborder les concepts théoriques et les principes généraux à la base des BPF et des méthodes de travail en ZAC.



L'utilisateur est plongé dans un environnement virtuel en 3D reproduisant une zone de production pharmaceutique.

Cet univers interactif est volontairement standard et donc légèrement différent de chaque usine. Cela oblige les utilisateurs à réfléchir, à prendre du recul et à analyser les informations disponibles avant d'agir.

Vous savez dès lors précisément quel est leur degré de compréhension des grands principes BPF.

Vous pouvez également en profiter pour aborder telles ou telles spécificités propres à votre usine et les causes qui ont amené à les mettre en place.

Partant de zones non classées et allant jusqu'en ZAC A/B, l'utilisateur dispose d'une grande liberté d'action pour se déplacer et interagir avec les objets et matériels à disposition dans les différentes pièces.

Durant la simulation, l'utilisateur devra accomplir différentes missions :

- S'habiller pour l'accès à la ZAC A/B
- Alimenter en bouchons une machine
- Effectuer un prélèvement microbiologique
- Transmettre ce prélèvement au laboratoire AQ
- Documenter les opérations effectuées
- Ressortir de la ZAC et se déshabiller

MODULE OBSERVATION

Objectif : aborder le comportement individuel à adopter en ZAC, ainsi que les gestes Pharma clés.



Ce module est constitué d'une vidéo de 14 minutes où l'on suit une résolution d'incident (casse flacons dans la répartisseuse aseptique).

Les personnages commettent un certain nombre d'erreurs BPF, que l'utilisateur doit identifier lorsqu'elles surviennent.

Ce module permet d'expliquer à vos équipes comment réagir face à ce genre de situation, ou encore d'aborder des points précis, telles que les méthodes de nettoyage de surface par exemple (volontairement mal faite par le personnage dans la vidéo).

Dans ce module, les personnages effectuent les activités suivantes :

- Intervention dans la machine
- Procédure d'habillage (filmée avec un acteur réel)
- Résolution de l'incident
- Nettoyage et traitement des déchets
- Documentation de l'incident

3 MODULE DOCUMENTATION

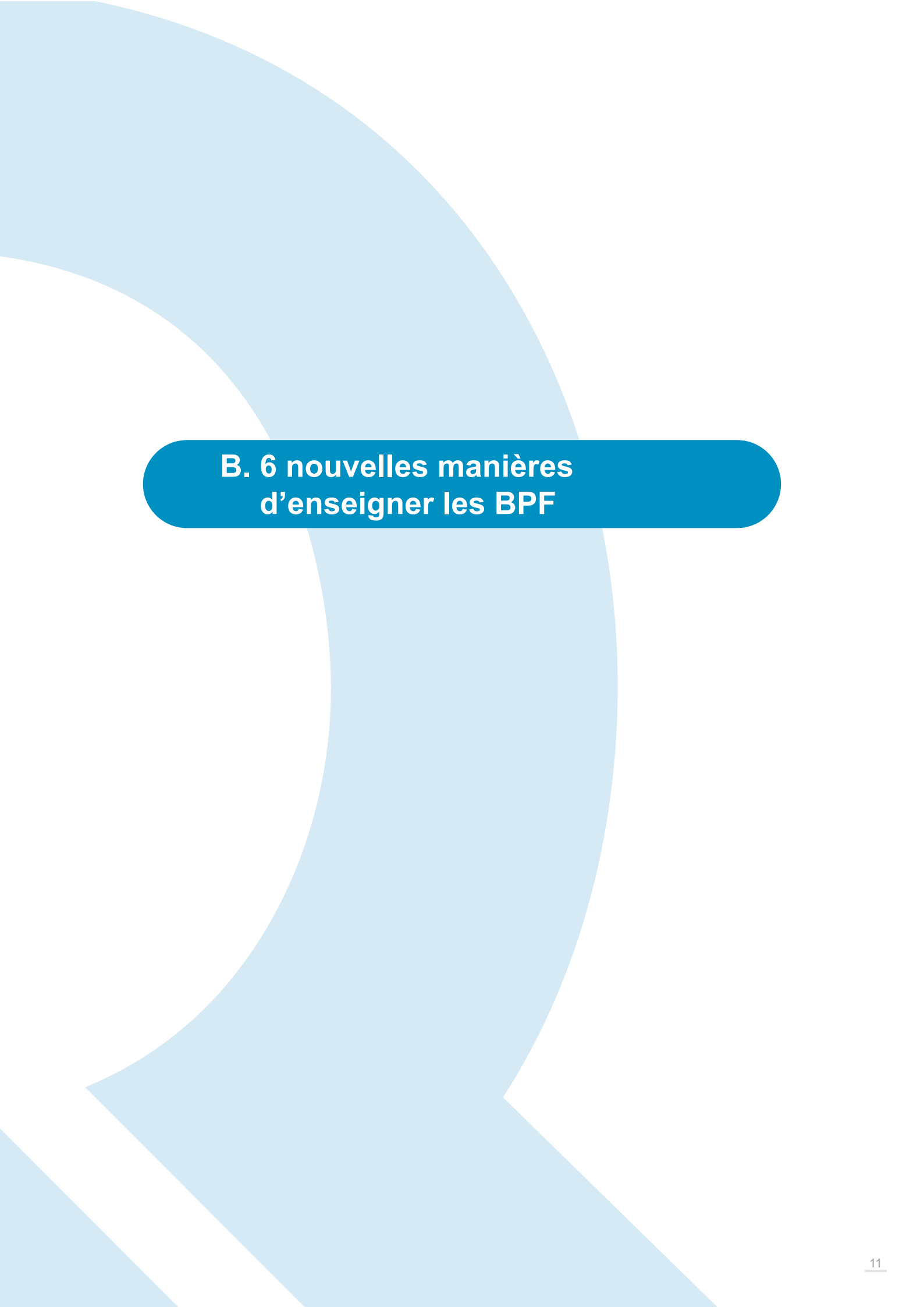
Objectif : aborder l'importance d'une documentation parfaite de chaque action, ainsi que les erreurs les plus fréquemment rencontrées.

Date	Description des opérations	Matière	Méthode	Temps	Coût
1.1	Installation générale de la machine et de l'installation de la machine	1.1.1	1.1.2	1.1.3	1.1.4
1.2	Installation des composants de la machine	1.2.1	1.2.2	1.2.3	1.2.4
1.3	Installation des composants de la machine	1.3.1	1.3.2	1.3.3	1.3.4
1.4	Installation des composants de la machine	1.4.1	1.4.2	1.4.3	1.4.4
1.5	Installation des composants de la machine	1.5.1	1.5.2	1.5.3	1.5.4
1.6	Installation des composants de la machine	1.6.1	1.6.2	1.6.3	1.6.4
1.7	Installation des composants de la machine	1.7.1	1.7.2	1.7.3	1.7.4
1.8	Installation des composants de la machine	1.8.1	1.8.2	1.8.3	1.8.4
1.9	Installation des composants de la machine	1.9.1	1.9.2	1.9.3	1.9.4
1.10	Installation des composants de la machine	1.10.1	1.10.2	1.10.3	1.10.4
1.11	Installation des composants de la machine	1.11.1	1.11.2	1.11.3	1.11.4
1.12	Installation des composants de la machine	1.12.1	1.12.2	1.12.3	1.12.4
1.13	Installation des composants de la machine	1.13.1	1.13.2	1.13.3	1.13.4
1.14	Installation des composants de la machine	1.14.1	1.14.2	1.14.3	1.14.4
1.15	Installation des composants de la machine	1.15.1	1.15.2	1.15.3	1.15.4
1.16	Installation des composants de la machine	1.16.1	1.16.2	1.16.3	1.16.4
1.17	Installation des composants de la machine	1.17.1	1.17.2	1.17.3	1.17.4
1.18	Installation des composants de la machine	1.18.1	1.18.2	1.18.3	1.18.4
1.19	Installation des composants de la machine	1.19.1	1.19.2	1.19.3	1.19.4
1.20	Installation des composants de la machine	1.20.1	1.20.2	1.20.3	1.20.4

Dans ce module de LabQuest, l'utilisateur doit contrôler un dossier de lot et signaler les erreurs d'enregistrements qui s'y trouvent.

Cet exercice permet d'illustrer les erreurs les plus fréquentes : oubli, rature, erreur d'horodatage, double visa manquant, imprécisions, etc.

Ce module permet également au formateur d'aborder des problématiques plus larges, comme par exemple l'importance de disposer d'une documentation exacte et d'une traçabilité parfaite de sa production en cas de rappel de lots.



B. 6 nouvelles manières d'enseigner les BPF

#1 Exploration libre

L'utilisateur se déplace librement dans l'espace virtuel. Il se familiarise, avec ou sans l'aide d'un formateur, à l'environnement de la ZAC et aux objets qu'il peut y trouver.



#2 Évaluation

L'utilisateur suit le scénario d'évaluation inclu, sans aide, ni retours d'informations en temps réel sur ses erreurs.

Une fois l'évaluation terminée, le formateur et l'évalué peuvent discuter ensemble des résultats obtenus et des erreurs commises.

#3 Coaching

Le formateur accompagne l'utilisateur tout au long du scénario d'évaluation et lui demande de verbaliser son analyse de chaque situation et problème à résoudre.

Il le guide et le questionne régulièrement pour mesurer son niveau de compréhension des principes BPF et lui apporter une information personnalisée, au bon moment.



#4

Exercice à but

L'utilisateur doit atteindre certains objectifs particuliers en termes de score ou de scénario, définis à l'avance par le formateur.



#5

Résolution de problèmes

Le formateur prépare un scénario sur mesure pour présenter des problématiques particulières et y travailler avec les utilisateurs.

Le processus de résolution de problèmes peut, dans ce cas, être conduit selon des exigences spécifiques définies par l'animateur : stock de gants stériles épuisé, dernière combinaison disponible déjà ouverte et déposée sur le banc, boîte de Pétri abandonnée ouverte sur la paillasse de ZAC, etc.

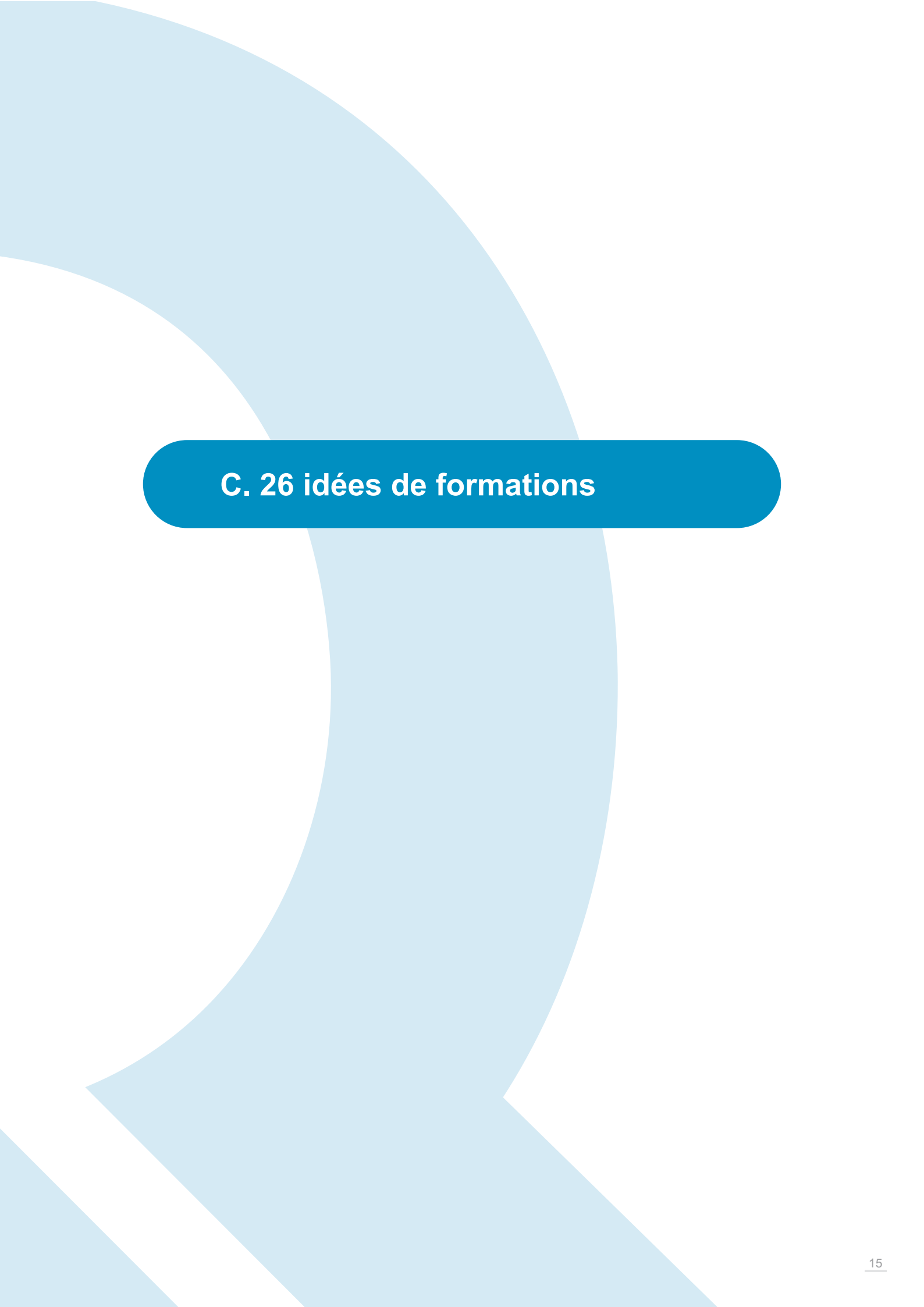
#6

Discussion en groupe

Le formateur anime la discussion au sein d'un groupe de collaborateurs en pilotant lui-même la simulation.

Il choisit les thèmes à aborder et utilise la simulation comme un support à la discussion et à la verbalisation des expériences de chacun, aux échanges de bonnes pratiques.





C. 26 idées de formations

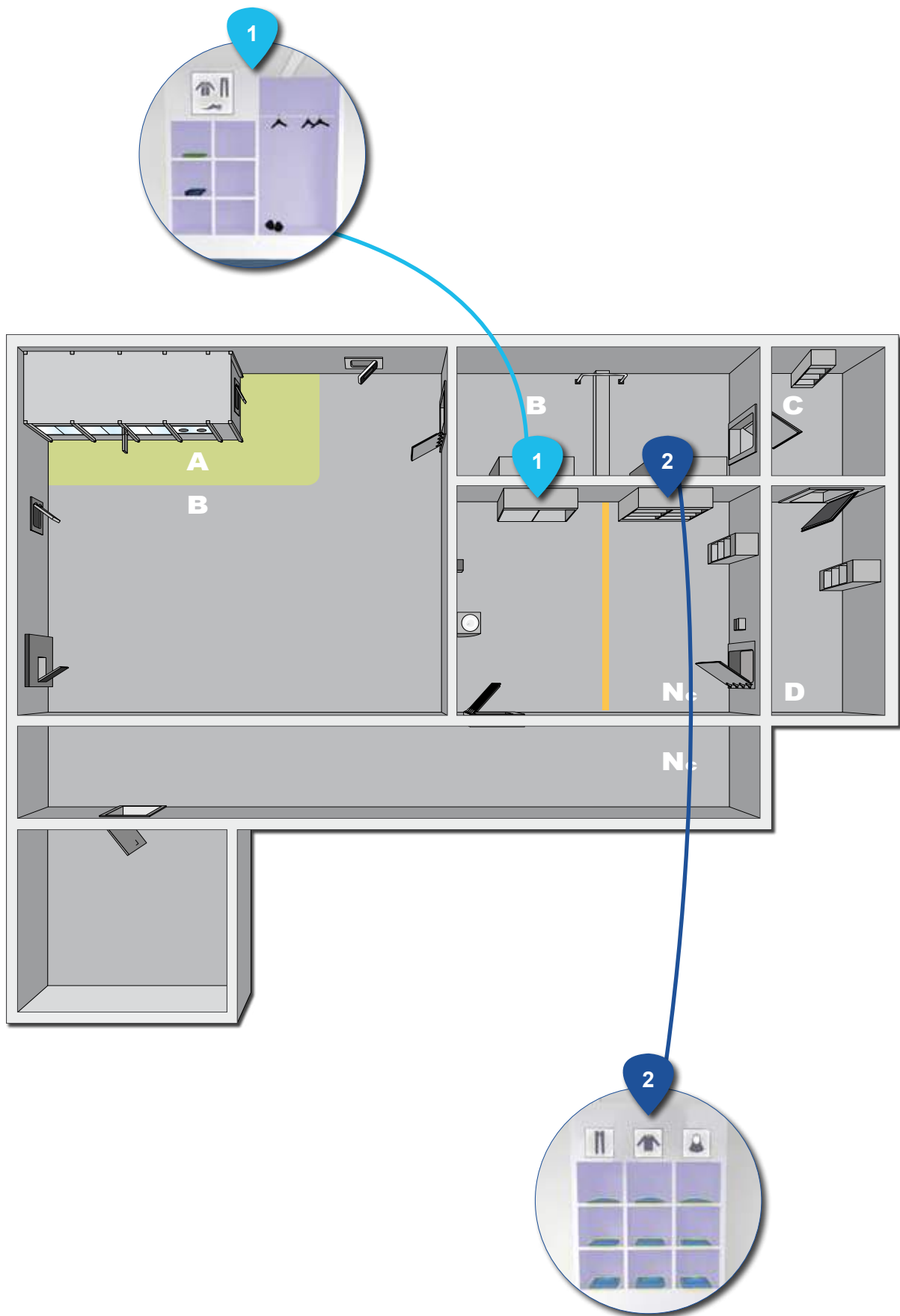
/// 1. HABILLAGE

La composition et la nature des éléments de la tenue de ZAC sont propres à chaque ligne de production.

La procédure et l'ordre d'habillage définis pour chaque espace doivent être respectés scrupuleusement.

Elle garantit la protection du collaborateur et la non contamination du produit.

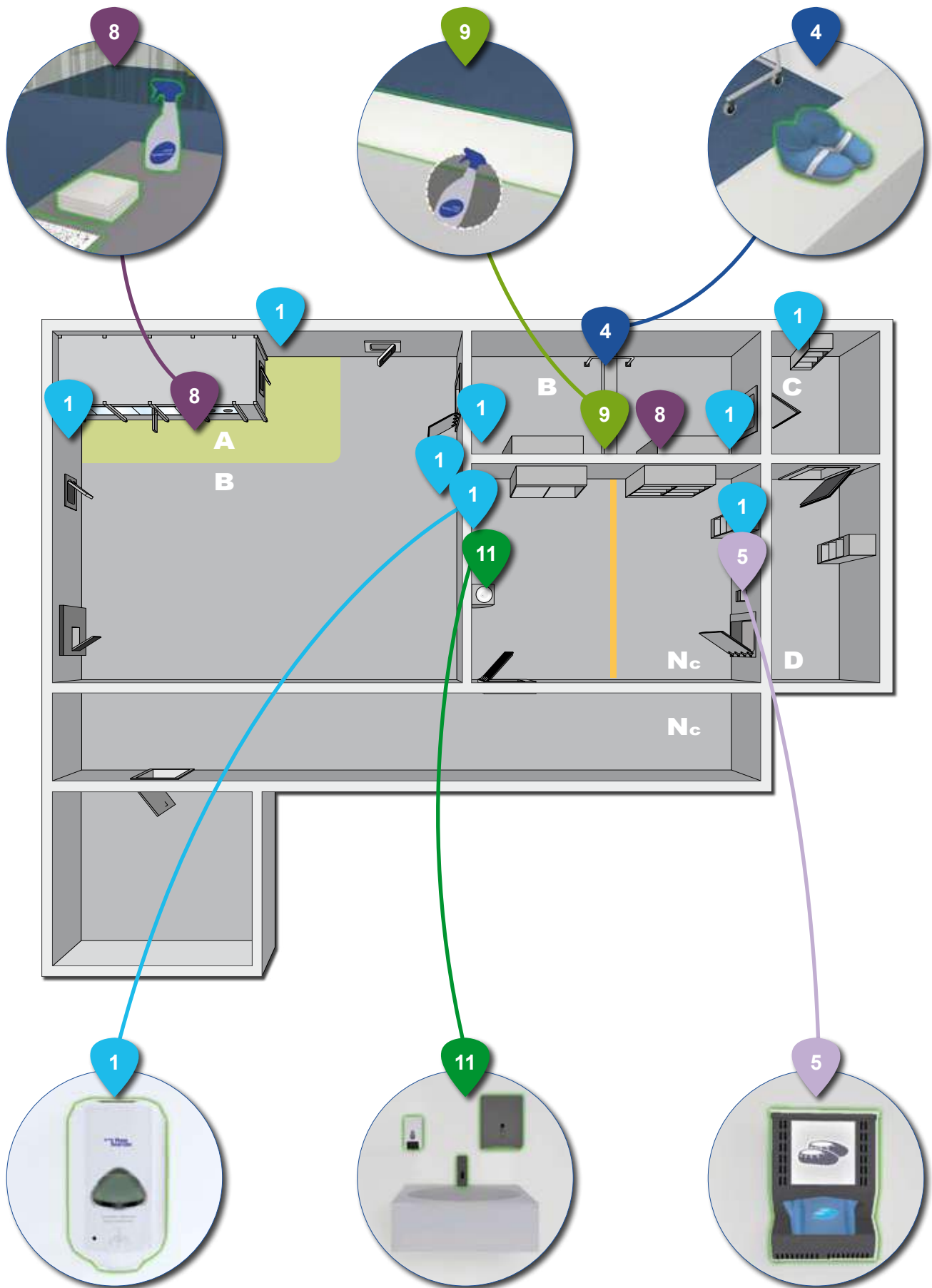
N°	Objet / Élément	Règle / Norme
1	Armoire pour les habits de ville <i>Sas NC partie sale</i>	Les habits de ville sont extrêmement contaminants, car ils ont été portés à l'extérieur. Une multitude de germes, bactéries, poussières et particules en tout genre y sont accrochés. Pour accéder à la zone de production, il est indispensable de retirer ses habits de ville à l'exception des sous-vêtements.
2	Sous-vêtements usine en deux parties <i>Sas NC partie propre</i>	Lors de l'habillage pour accéder en zone de production, il convient de respecter la règle de l'habillage du « haut vers le bas ». Ceci afin d'éviter que le bas de la tenue ne soit contaminé par les particules rejetées lors de l'endossage du haut de la tenue.
3	Réajuster le masque <i>Vidéo d'observation</i> 🕒 11:24	
4	Contact entre deux opérateurs <i>Vidéo d'observation</i> 🕒 10:22	La manipulation des éléments de la tenue augmente les risques de contamination.
5	Toucher l'extérieur de la combinaison <i>Vidéo d'observation</i> 🕒 05:50 > <i>Frotter le visage contre la manche</i> 🕒 06:09 > <i>Frotter la capuche contre le visage</i> 🕒 06:42 > <i>Toucher la tête avec les mains</i> > <i>Toucher la capuche avec les mains</i> > <i>Toucher le cou avec les mains</i>	Une fois endossés, les éléments de la tenue ne doivent plus être touchés. Pour garder un niveau de stérilité adéquat, il est indispensable d'éviter les contacts et auto-contacts.



2. HYGIÈNE ET NETTOYAGE

Les mains sont le principal vecteur de contamination, il est important de les désinfecter régulièrement. Les procédures de nettoyage et de désinfection sont particulières à chaque contexte : classement des pièces, dangerosité des produits, etc. Elles doivent être précisément respectées pour éviter tout risque de contamination.

N°	Objet / Élément	Règle / Norme
1	Utilisation du gel hydro-alcoolique <i>Sas NC, C, B, ZAC</i>	Il est nécessaire de se désinfecter régulièrement les mains et les gants, notamment lors de chaque contact avec un objet ou avant d'intervenir sur/dans une machine.
2	Contact de la main avec le capteur d'ouverture de la porte <i>Vidéo d'observation ⌚ 03:33</i>	Il faut éviter d'entrer en contact avec les murs de la zone de production ou les parois des équipements qui sont potentiellement contaminants.
3	Les manches de la combinaison touchent accidentellement le sol <i>Vidéo d'observation ⌚ 04:41</i>	
4	Endossage des sur-bottes <i>Sas B, vidéo d'observation ⌚ 07:25</i>	Un objet mis en contact ou simplement approché du sol est potentiellement contaminé.
5	Endossage des sur-chaussures <i>Sas NC</i>	
6	Enlever les sur-chaussures <i>Vidéo d'observation ⌚ 02:38</i>	
7	Ramasser un objet tombé au sol <i>Vidéo d'observation ⌚ 10:29</i>	
8	Spray désinfectant et lingettes <i>Sas B, ZAC, vidéo d'observation ⌚ 11:58</i>	
9	Nettoyage du banc <i>Sas B, vidéo d'observation ⌚ 06:58</i>	Toutes les surfaces sont potentiellement contaminées et potentiellement contaminantes ; elles doivent être nettoyées et/ou désinfectées de manière adéquate avant usage.
10	Nettoyage de la machine suite à une projection de liquide <i>Vidéo d'observation</i> ⌚ 12:05 > <i>Vitre</i> ⌚ 13:12 > <i>Spray</i>	
11	Utilisation du lavabo <i>Sas NC</i>	Il est important de bien se laver les mains avant d'entamer la procédure d'habillage.



3. FLUX

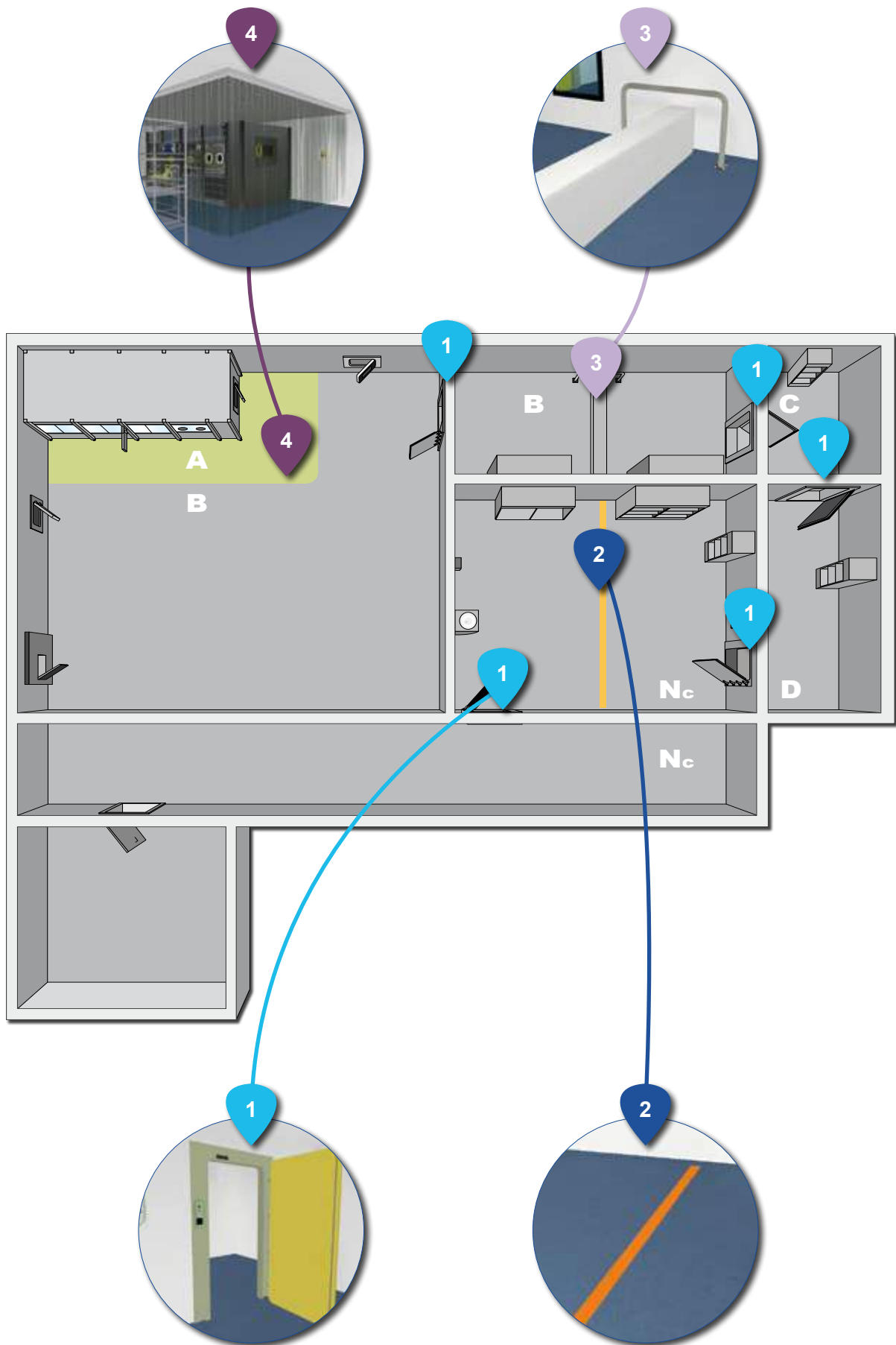
Les zones de production sont conçues de manière à ce que les flux de personnes, de matières et de déchets :

- suivent des cheminements séparés ;
- se croisent le moins possible ;
- respectent les règles « du sale vers le propre » jusqu'à la fabrication du produit, « du propre vers le sale » une fois celui-ci scellé et protégé.

Cette organisation vise, par exemple, à garantir qu'à aucun moment un déchet ne croise une matière première ou un produit non scellé.

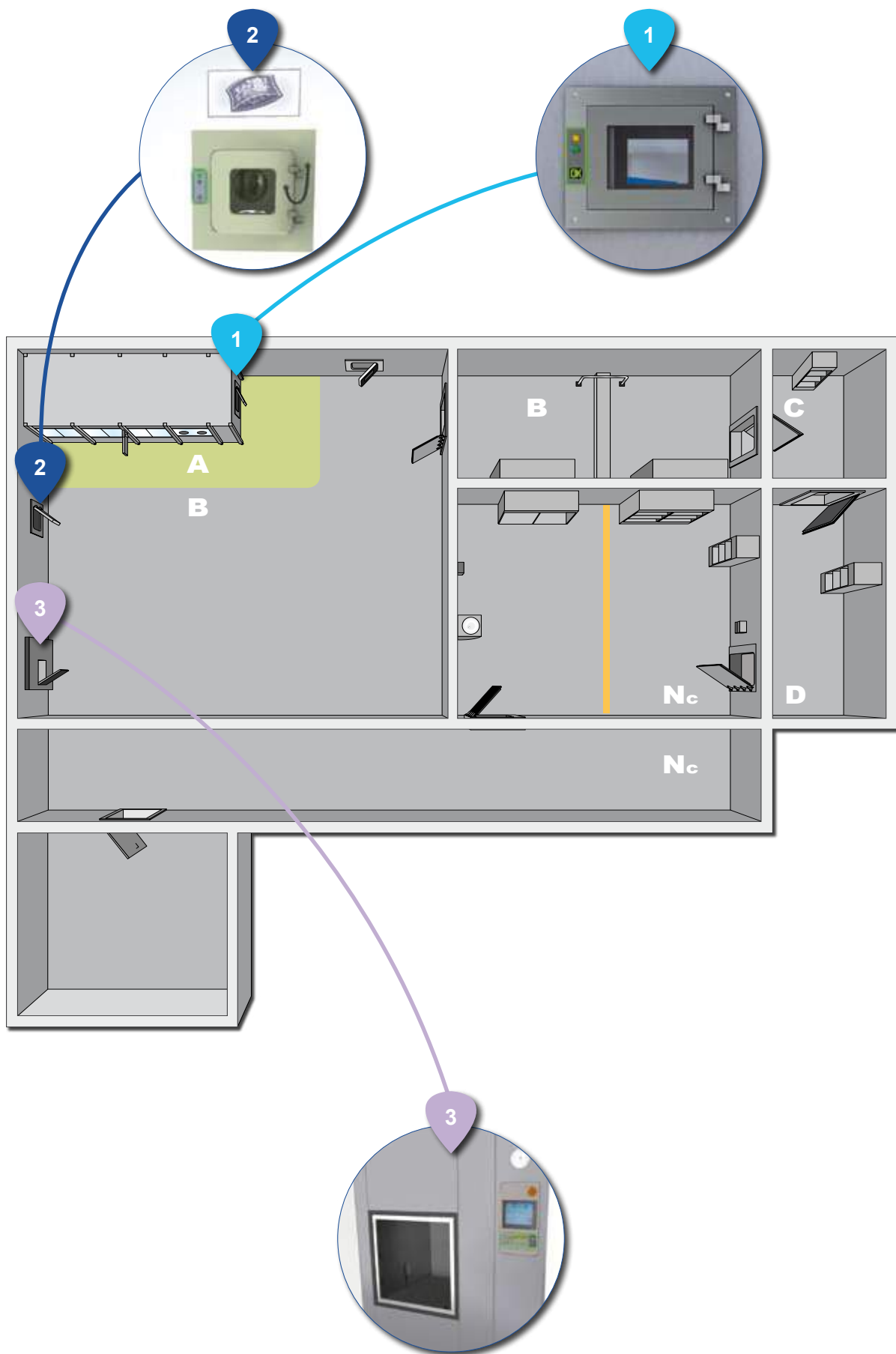
A - FLUX DE PERSONNES

N°	Objet / Élément	Règle / Norme
1	Franchissement des zones <i>Sas NC, D, C, B, ZAC</i>	Le principe de marche en avant doit toujours être respecté. Il y a un risque de contamination des éléments de la tenue lors d'un retour en arrière, d'une zone propre vers une zone plus sale.
2	Franchissement de la ligne jaune <i>Sas NC</i>	
3	Franchissement du banc <i>Sas B</i>	
4	Franchissement des lamelles PVC <i>Sas B</i>	Les lamelles en PVC permettent de visualiser la séparation entre la zone en classe A et la zone en classe B.



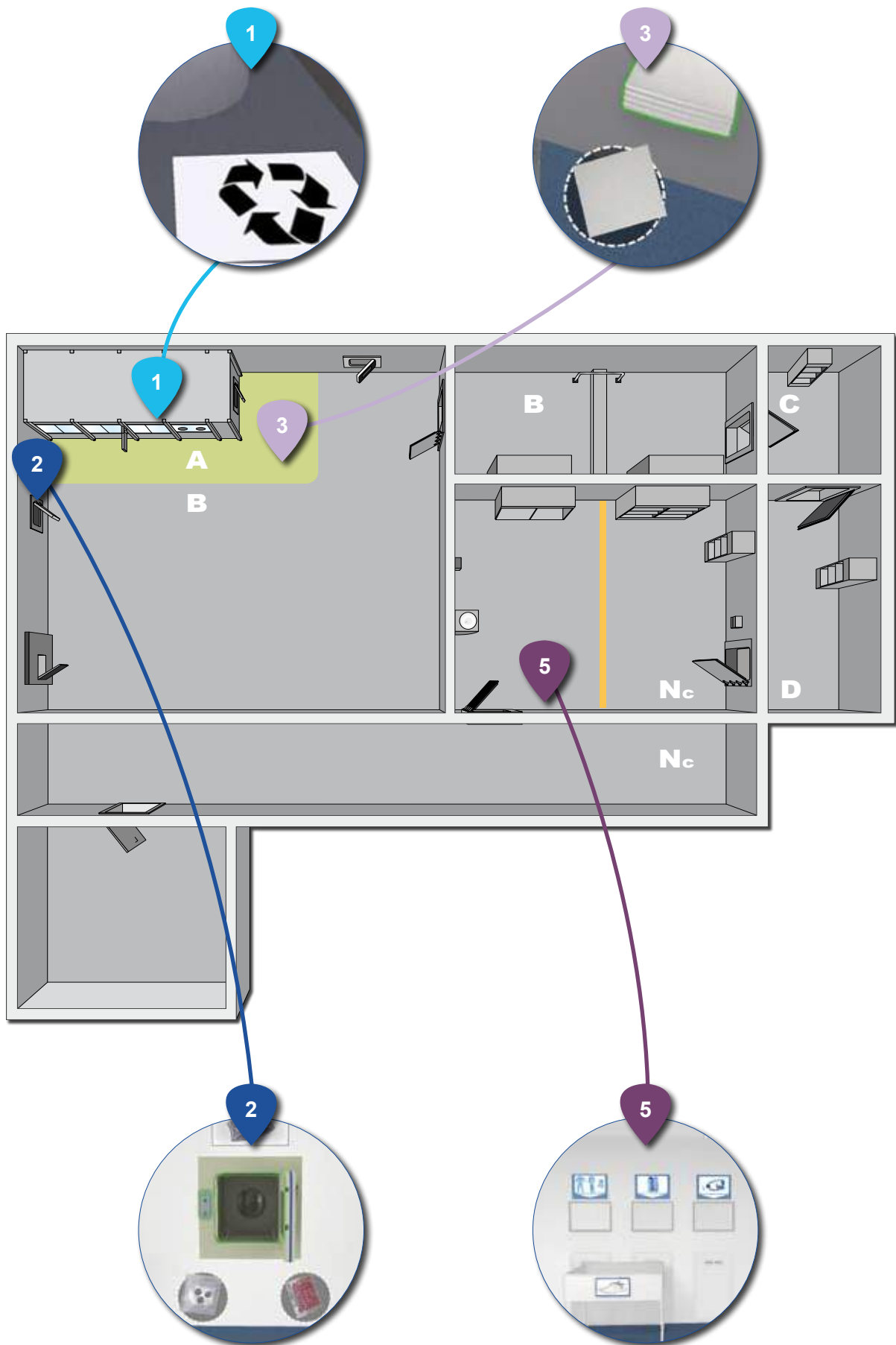
B - FLUX DE MATIÈRES

N°	Objet / Élément	Règle / Norme
1	Utilisation du passe-plat de l'isolateur (ZAC) ZAC	Les objets introduits dans un environnement de classe A doivent être stérilisés, même s'ils viennent de classe B. Le simple fait de les avoir manipulés entraîne un risque de contamination.
2	Utilisation du passe-plat d'arrivée des matières premières ZAC	Tous les objets introduits dans un environnement de classe B doivent être parfaitement stérilisés.
3	Utilisation de l'autoclave ZAC	L'autoclave permet de décontaminer tout objet potentiellement contaminant entrant ou sortant de la ZAC.



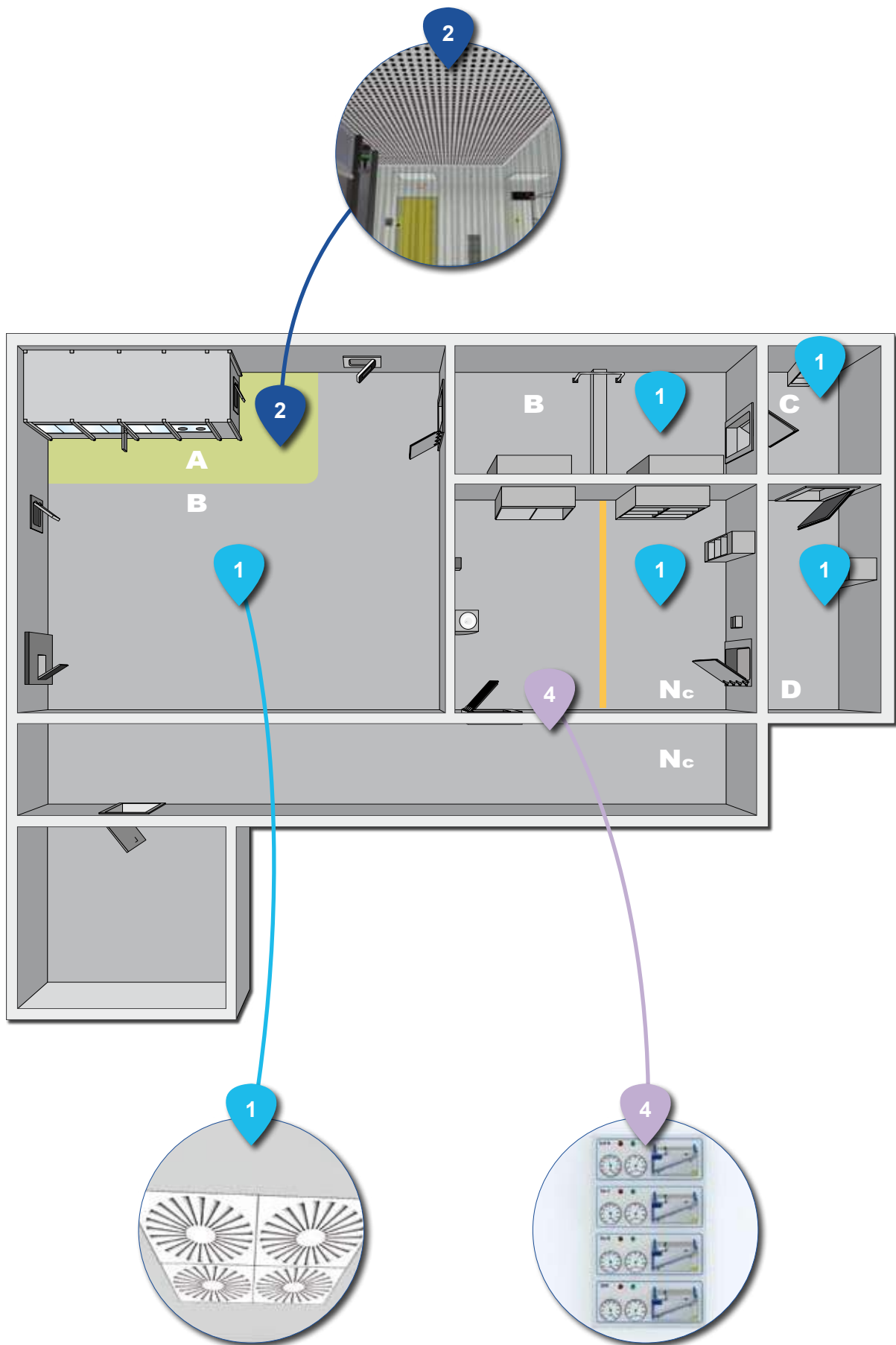
C - FLUX DE DÉCHETS

N°	Objet / Élément	Règle / Norme
1	Poubelle One-Way dans l'isolateur <i>Répartisseuse aseptique</i>	
2	Traitement de la sache contenant les matières premières <i>ZAC</i>	Les déchets doivent quitter le plus rapidement possible les environnements « propres » pour éviter tout risque de contamination.
3	Traitement des lingettes <i>ZAC, vidéo d'observation 🕒 14:10</i>	Les déchets doivent être triés et traités de manière adaptée, en fonction de leur nature (solide, liquide, à incinérer, à inactiver, à reconditionner, etc.).
4	Traitement des bris de verre lors de la casse flacons <i>Vidéo d'observation 🕒 10:43</i>	
5	Trie des éléments de la tenue lors du déshabillage <i>Sas NC</i>	



D - FLUX AÉRAULIQUES

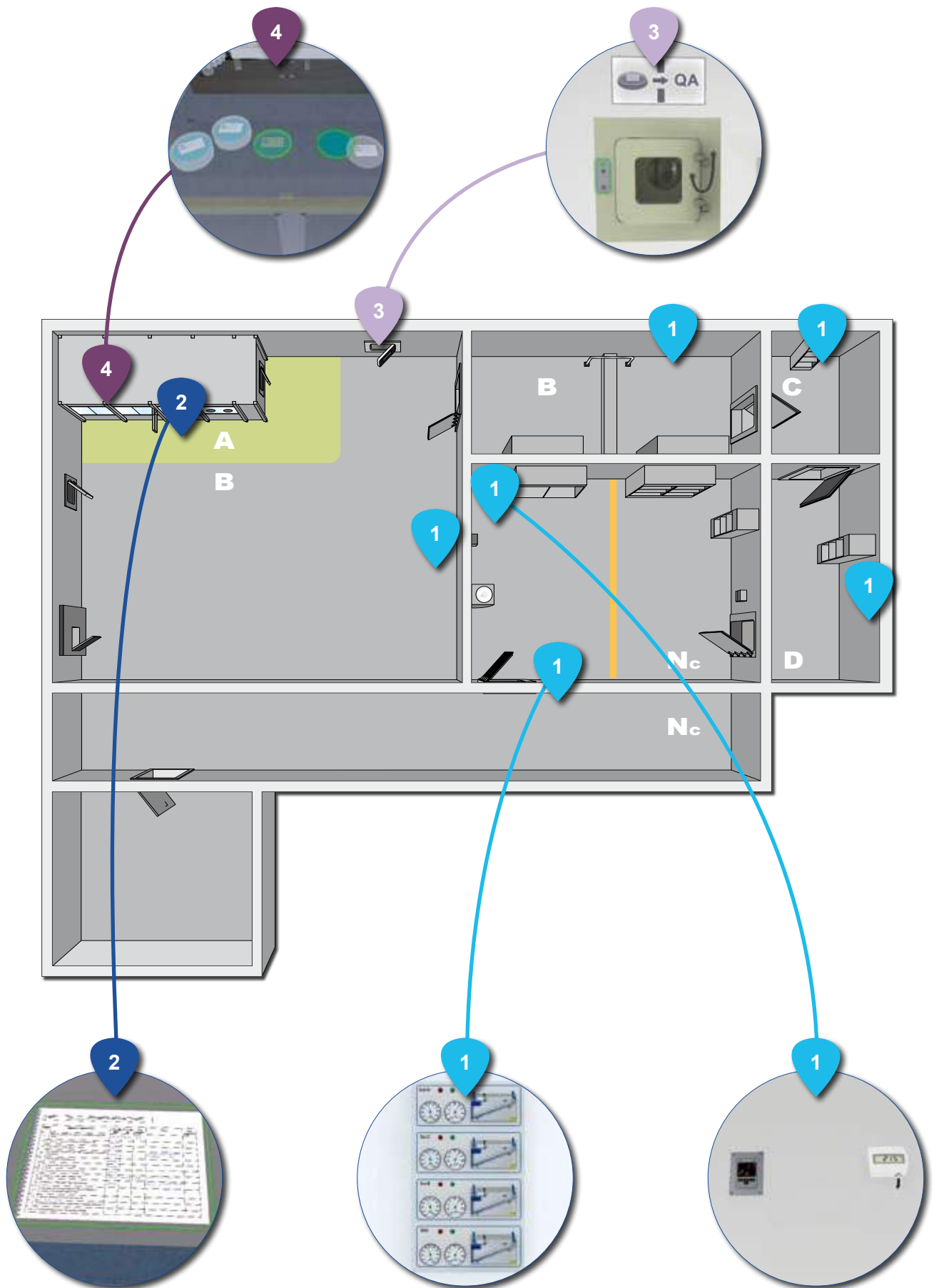
N°	Objet / Élément	Règle / Norme
1	Bouche de soufflage / bouche d'aspiration <i>Sas NC, D, C, B, ZAC</i>	Ce dispositif permet la création d'un mouvement d'air dans la pièce, qui écrase les particules en suspension vers le sol et les poussent vers des bouches d'aspiration qui les extraient de la pièce.
2	Plafond soufflant / flux laminaire <i>Classe A</i>	Ce dispositif crée une barrière qui empêche les particules d'entrer en contact avec des matériaux stériles ou des produits non scellés.
3	Perturbation du flux laminaire	Il est important de limiter au maximum les perturbations du flux laminaire lors des interventions sur les machines maintenues en classe A.
4	Tableau de contrôle de la pression <i>Couloir NC</i>	La pression atmosphérique de chaque pièce est différente pour créer une « cascade de pression » sur l'ensemble de la zone de production. Cette surpression crée une barrière invisible qui repousse les particules vers les pièces les moins « propres ».



/// 4. MONITORING ENVIRONNEMENTAL

L'environnement de travail ainsi que l'air présent dans les machines en contact avec le produit sont contrôlés en continu par différents capteurs. Leurs mesures sont complétées par des échantillonnages manuels réguliers.

N°	Objet / Élément	Règle / Norme
1	Contrôle environnemental en continu (panneau de contrôle et capteurs de pression, température et hygrométrie) <i>Sas D, C, B et ZAC</i>	Un tableau de contrôle, généralement placé dans le couloir d'accès à la zone de production, récapitule l'état de chacun des paramètres (température, pression, hygrométrie) pour chacune des pièces. Si un paramètre diffère de la norme, il faut immédiatement le signaler à la personne qualifiée et ne pas pénétrer dans la zone de production.
2	Echantillonnage et annotation dans le dossier de lot <i>ZAC, dossier de lot</i>	Les personnels doivent consigner précisément chaque échantillonnage dans le dossier de lot.
3	Utilisation du passe-plat AQ <i>ZAC</i>	Il est nécessaire d'envoyer des échantillons et des prélèvements microbiologiques au laboratoire d'assurance qualité. Leur analyse permettra de valider la non contamination des produits et la libération du lot.
4	Procédure de prélèvement de boîtes de Pétri <i>ZAC, vidéo d'observation 🕒 12:54</i>	Des prélèvements microbiologiques sont faits régulièrement pour s'assurer (et prouver) que l'air présent dans les équipements de production n'est pas contaminé.
5	Boîte de contact sur la tenue <i>Vidéo d'observation 🕒 13:48</i>	Le niveau de contamination des tenues des personnels est également contrôlé.



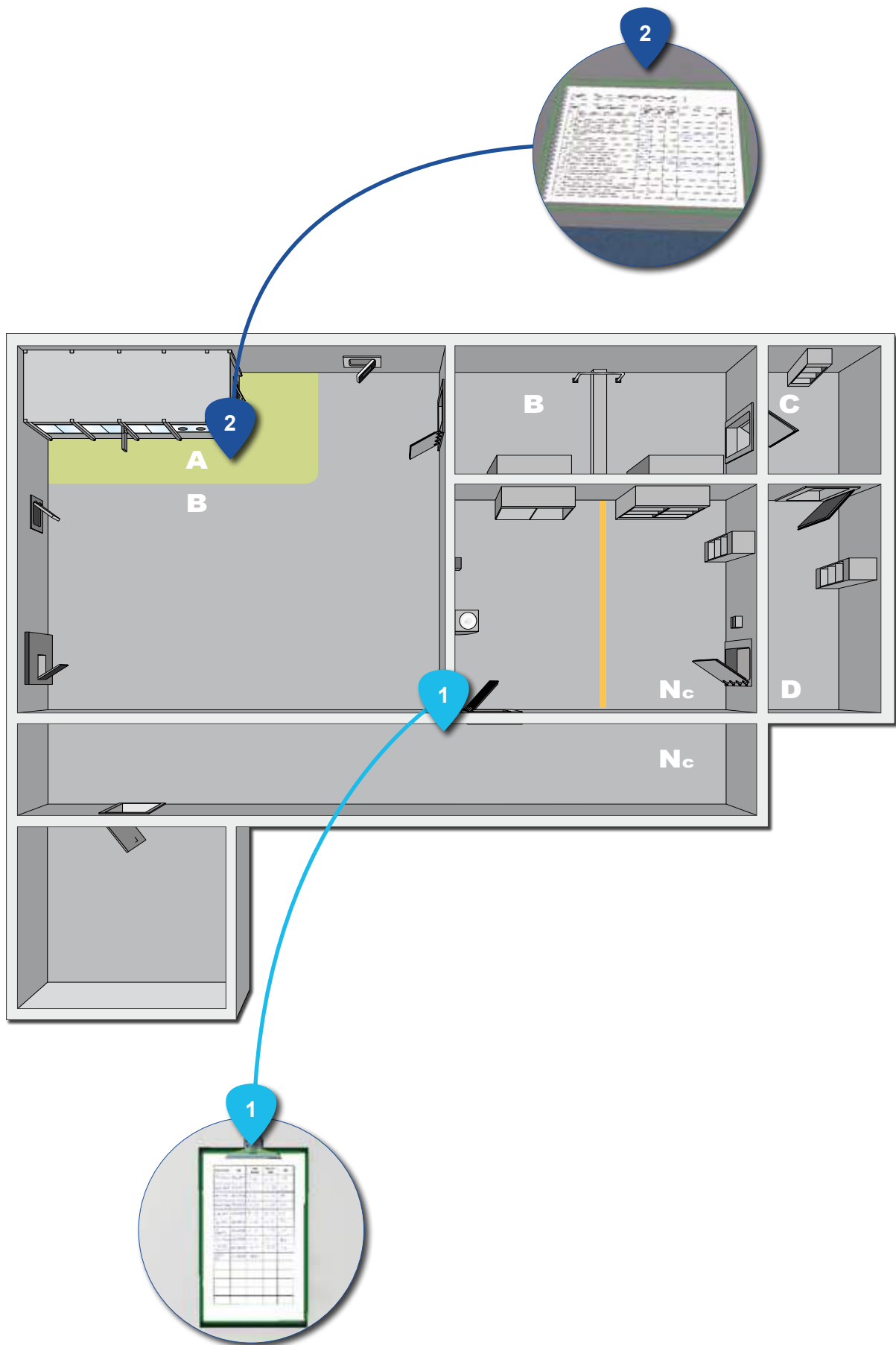
// 5. DOCUMENTATION ET TRAÇABILITÉ

Il est indispensable d'avoir une traçabilité très pointue de toutes les opérations qui ont été accomplies, depuis l'arrivée des matières premières jusqu'à la libération du lot.

Une documentation précise permet d'identifier rapidement les causes d'un problème en cas de non-conformité ou de contamination du produit.

On peut dès lors agir plus rapidement et éviter tout incident supplémentaire.

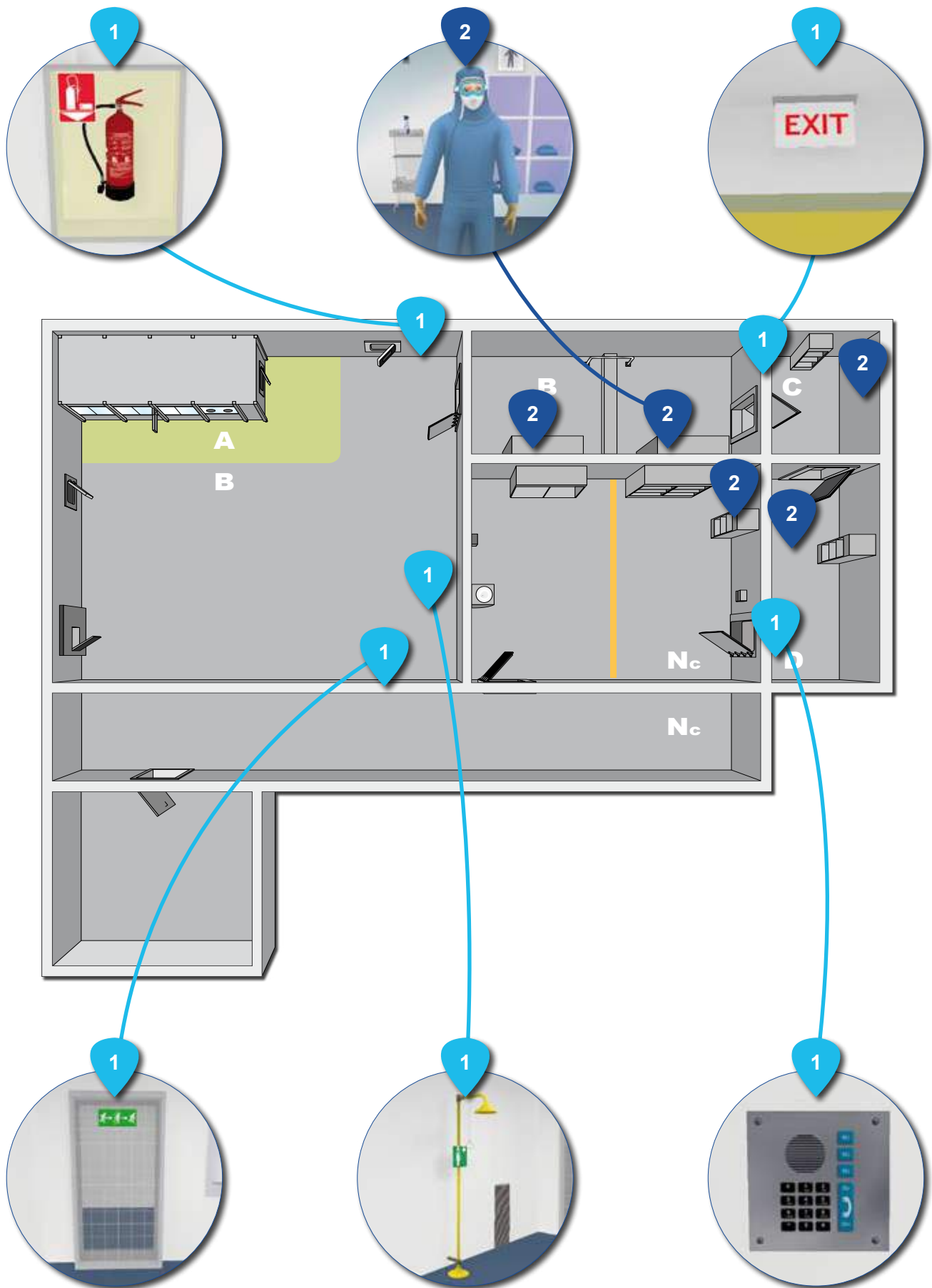
N°	Objet / Élément	Règle / Norme
1	Registre d'entrée en ZAC <i>Couloir NC</i>	L'enregistrement des accès des personnels aux zones de production permet de savoir qui est présent en ZAC, à chaque instant. Cela accélère les investigations en cas d'incident ou de non conformité du produit.
2	Annotation de toute opération dans la ZAC (changement d'équipe, alimentation de la machine, prélèvement boîtes de Pétri), <i>ZAC, dossier de lot</i>	Il est indispensable d'effectuer une consignation précise de chaque événement et opération dans le dossier de lot. Cela permet de garantir un parfait suivi de la qualité du produit et permet également d'accélérer les investigations en cas de non conformité du produit.

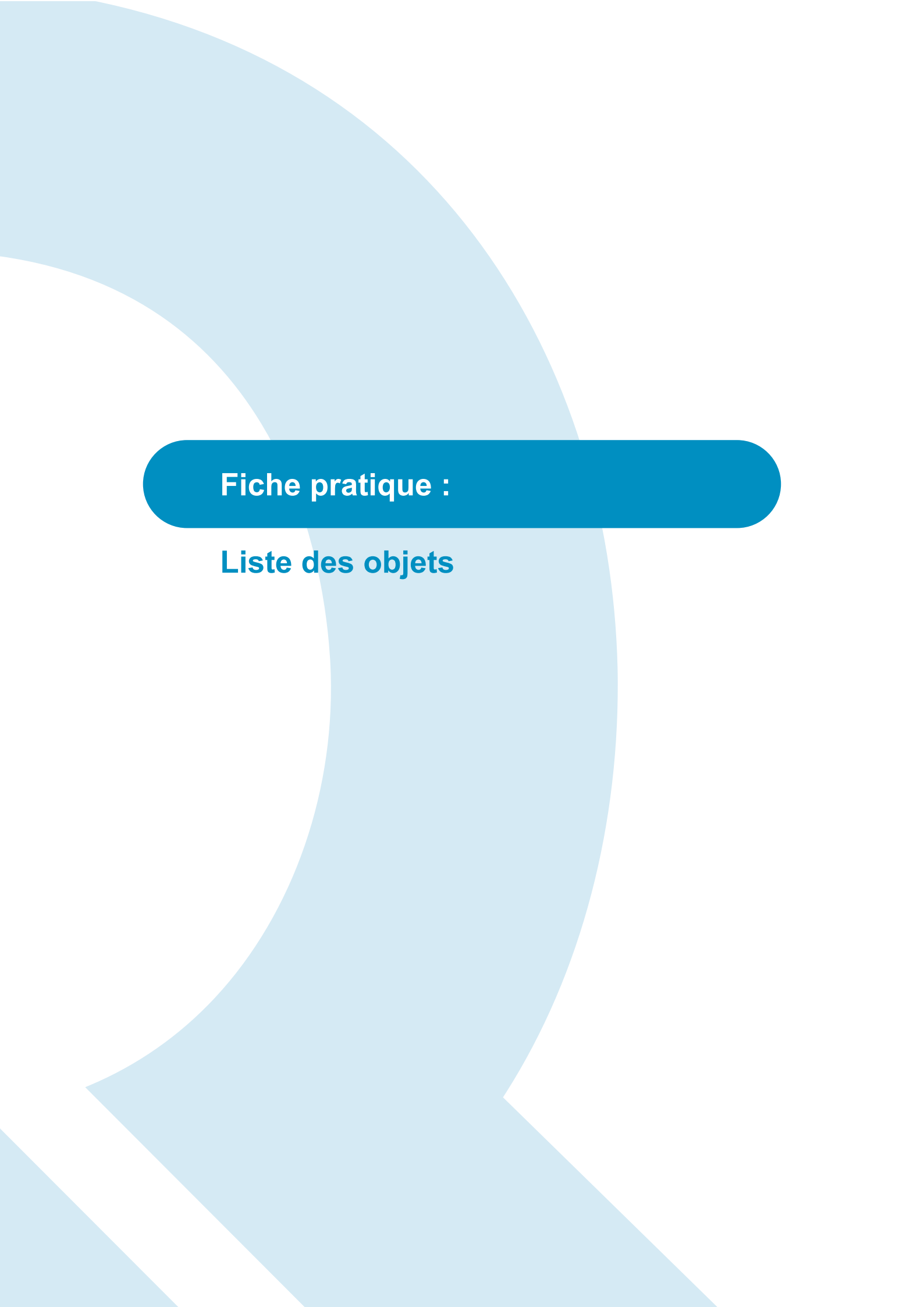


/// 6. SÉCURITÉ DE LA PERSONNE

Des dispositifs de sécurité destinés à protéger les personnels sont implémentés dans toute la zone de production.

N°	Objet / Élément	Règle / Norme
1	Dispositif de sécurité dans la zone de production (douche, vitre auto-cassante, extincteur, sprinkler, interphone, signalétique d'évacuation d'urgence) <i>Sas NC, D, C, B, ZAC</i>	Différents dispositifs de sécurité répartis dans la zone de production ont pour fonction de protéger les personnels. Certains permettent de résoudre immédiatement une situation d'urgence, d'autres facilitent l'évacuation des personnels en cas d'incidents.
2	Protection de la personne (tenue, masque de chirurgien, masque de vision, sur-bottes, gants etc.) <i>Sas NC, D, C, B, ZAC</i>	Certains composants de la tenue ont pour fonction de protéger les personnels en cas de chocs ou de projections de liquides ou de poudres. D'une manière générale, ils constituent également une protection contre tout risque de contamination.

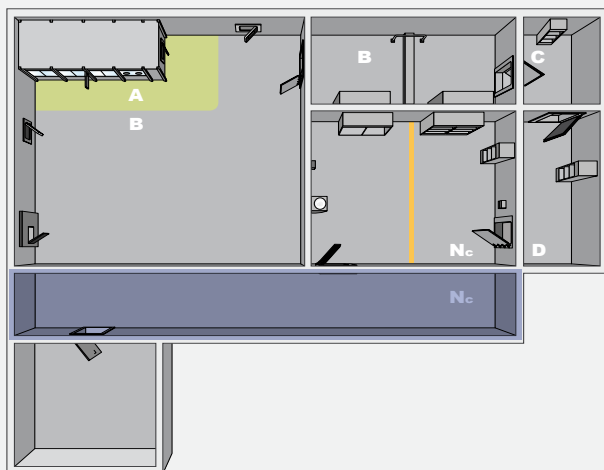




Fiche pratique :

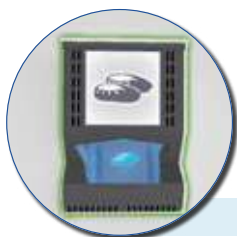
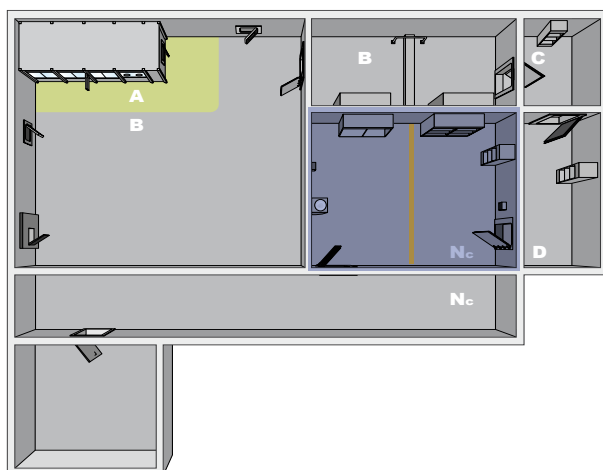
Liste des objets

/// 1. Couloir (non classé)

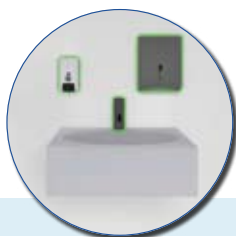


Registre d'entrée en zone de production

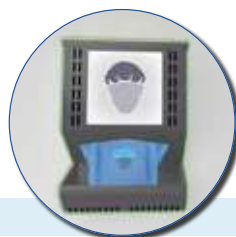
/// 2. Sas personnel (non classé)



Distributeur de sur-chaussures



Lavabo, savon, essuie-mains



Distributeur de charlottes



Poubelles



Chaussures de zone



Gel hydro-alcoolique

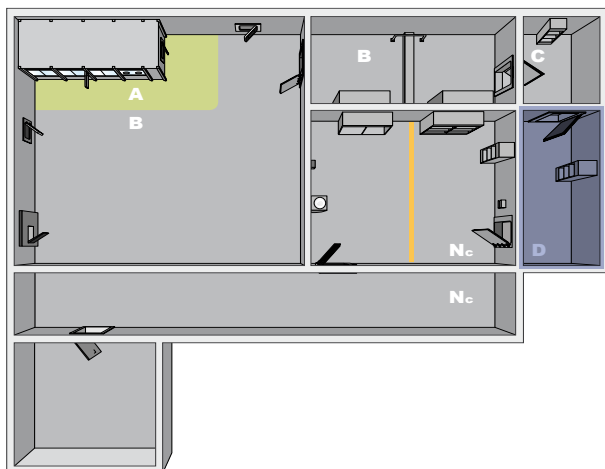


Armoire pour habits de ville

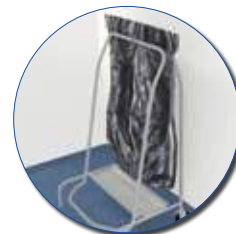


Armoire à sous-vêtements usine et filets/cagoules

/// 3. Sas personnel (classe D)

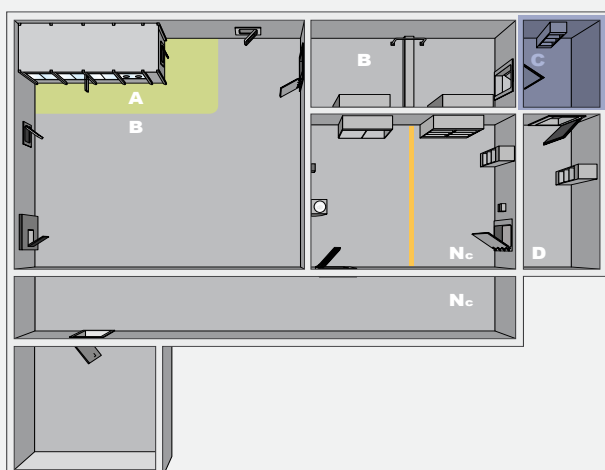


Armoire à masques de chirurgien



Poubelle

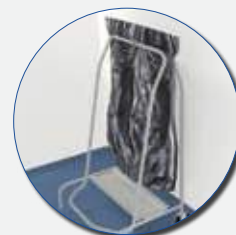
/// 4. Sas personnel (classe C)



Gants d'habillage

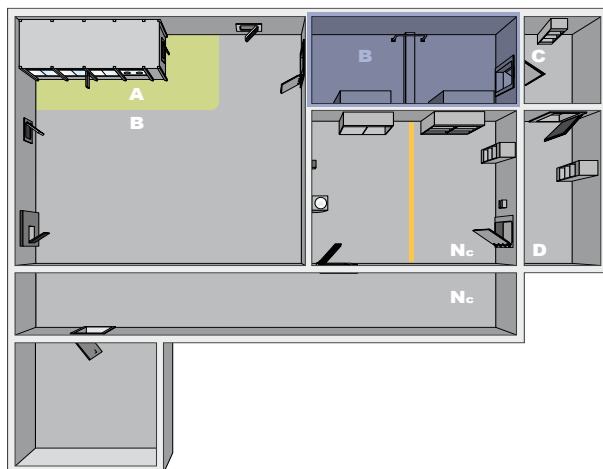


Gel hydro-alcoolique



Poubelle

/// 5. Sas personnel (classe B)



Sur-bottes et
combinaisons intégrales



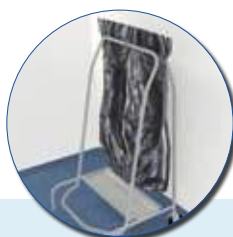
Sprays
désinfectants



Goggles
(masques de vision)
et gants stériles



Gels
hydro-alcooliques

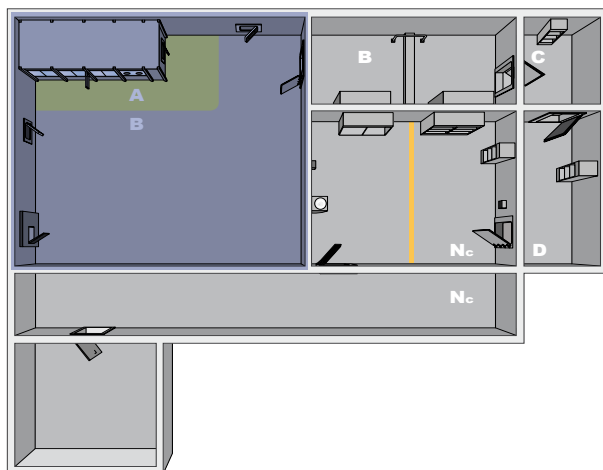


Poubelles



Banc

/// 6. ZAC (classe A/B)



Passe-plat AQ



Passe-plat machine



Passe-plat matières premières



Gants isolateur premières



Vitres répartisseuse aseptique



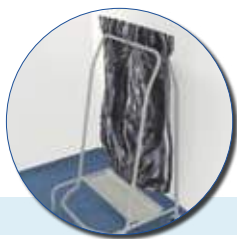
Boîtes de Pétri



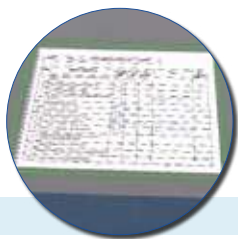
Gels hydro-alcooliques



Spray désinfectant



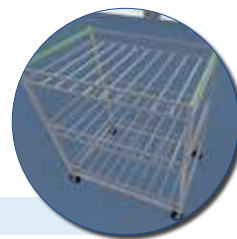
Poubelles



Dossier de lot



Autoclave



Chariots



Ecran de contrôle



Lingettes



Fiche pratique :

Prise en main

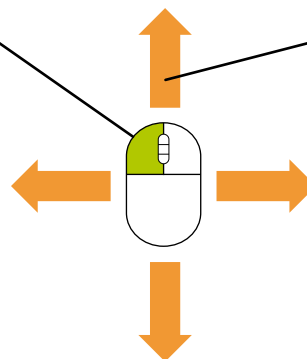
Fiche pratique : Prise en main

/// COMMANDES



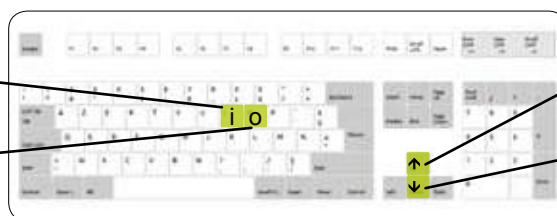
Clic gauche
pour interagir
avec les objets.

Déplacez la souris
pour regarder
autour de vous.



recommencer
un module
de formation **i**

passer au
module de
formation suivant **o**



↑ avancer

↓ reculer

/// ECRAN

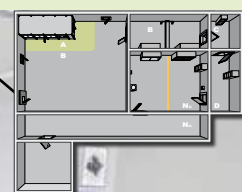
Volet d'habillage

Permet d'habiller et de déshabiller
votre personnage.



Plan

Permet de vous situer au sein
de la zone de production.



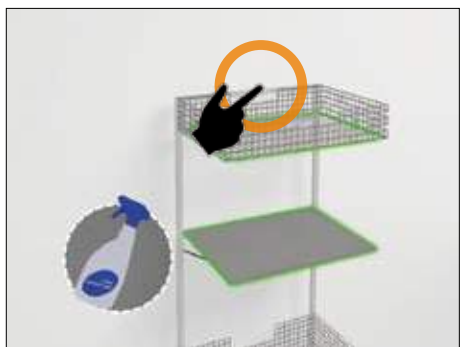
Mains

Affiche les objets que vous tenez
dans vos mains.

Halo jaune

Signale que l'objet est trop éloigné.
Vous devrez vous en approcher avant
de pouvoir l'utiliser.

Interaction avec les objets



Cliquez sur un objet pour l'actionner ou le prendre en main.



Déplacez un objet ou endossez un vêtement en le faisant glisser.

Les objets ci-dessous ont des possibilités supplémentaires. Cliquez dessus pour les activer.



Boîte de Pétri



Prendre



Ouvrir



Fermer



Annoter



Sur-bottes



Prendre



Mettre



Sache de bouchons



Ouvrir double-sache



Verser



Spray



Actionner

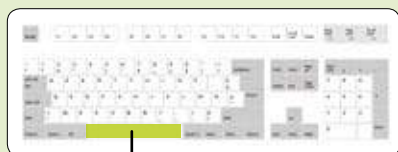


Dossier de lot



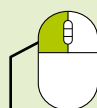
Annoter

Vidéo d'observation



Barre Espace

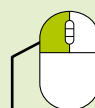
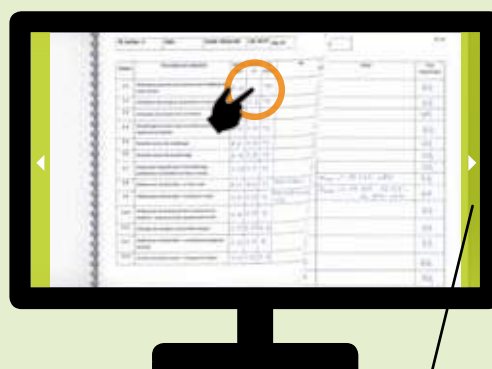
Appuyez pour mettre la scène en pause.



Clic gauche

Cliquez pour signaler les erreurs.

Dossier de lot



Clic gauche

Cliquez pour signaler les erreurs.

Bandes latérales

Cliquez pour tourner les pages du dossier.



LabQuest est un produit développé par WhiteQuest.

Contact :
WhiteQuest SAS
3 Promenade des Cardeurs
67150 Erstein - France

support@whitequest.fr
03 88 25 55 35

www.whitequest.fr



WHITEQUEST®
evaluate, train & share.

Résumé. *Les Serious Games (SGs) sont des dispositifs de formation de plus en plus utilisés dans les différents secteurs de l'éducation initiale et continue. Dans le cadre de cette thèse, notre objectif est de concevoir, d'abord, et développer, ensuite, un SG pour la formation et l'évaluation des personnels travaillant en environnement aseptique. Nous présenterons dans ce travail de recherche les approches théoriques qui sont à l'origine de la démarche de conception. Nous en viendrons à la définition d'un modèle unitaire et holistique (PEGADE) qui décrit le processus collaboratif et optimal de conception des SGs et qui s'articule autour d'une nouvelle figure professionnelle, le Pedagogical Game Designer (PGD). Une étude de l'efficacité sera réalisée pour comprendre dans quelle mesure un développement des compétences via le SG est possible et quelle est sa plus-value par rapport aux méthodes traditionnelles de formation pour les mêmes matières. Nous proposerons également une évolution de la théorie du conflit instrumental sur laquelle cette thèse s'appuie qui sera à l'origine d'une nouvelle méthode d'analyse de l'utilisabilité des dispositifs d'apprentissage utilisant les technologies informatiques.*

Mots-clés : *Serious Game – Serious Game Design – Instructional Design – Simulation – Apprentissage par l'action – Gamification – Analyse des compétences – Évaluation des apprentissages – Conflit instrumental – TIC*

Abstract. *Serious games (SGs) are a very widespread training and evaluation device, employed in different sectors of school and adult education. In this study we aim to design and develop a SG for training and evaluating personals working in aseptic environment. We will present in this research the theoretical basis needed for that design process. We will define a holistic and united model (PEGADE), which describes the collaborative and optimal process to conceive SGs and which is constructed around a new professional figure, the Pedagogical Game Designer (PGD). A study of the effectiveness will be performed in order to understand how competences can be developed through the SG and which are the differences between this device if compared with traditional training used for similar purposes. We will propose as well an evolution of the instrumental conflict theory, which is one of the foundations of this thesis. That one will constitute the basic for a new method of usability test applied to every learning tool using ICTs.*

Keywords: *Serious Game – Serious Game Design – Instructional Design – Simulation – Learning by doing – Gamification – Competences Analysis – Evaluation of knowledge – Instrumental Conflicts – ICT*