

Une approche meta-design des learning games pour développer leur usage.

Mathieu Vermeulen

► To cite this version:

Mathieu Vermeulen. Une approche meta-design des learning games pour développer leur usage.. Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain. Sorbonne Université, Faculté des Sciences et Ingénierie, 2018. Français. <tel-01871048>

HAL Id: tel-01871048

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01871048>

Submitted on 10 Sep 2018

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.

Thèse de doctorat

Pour obtenir le grade de Docteur de

SORBONNE UNIVERSITÉ, FACULTÉ DES SCIENCES ET INGÉNIERIE

École doctorale Informatique, Télécommunications et Électronique (Paris)

UMR 7606 Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Équipe Modèle et Outils en Ingénierie des
Connaissances pour l'Apprentissage Humain (MOCAH)

Une approche *meta-design* des *learning games* pour développer leur usage.

Spécialité : **Informatique**

Par **Mathieu VERMEULEN**

Dirigée par **Jean-Marc LABAT**

Présentée et soutenue le 11/06/2018

JURY

Amal EL FALLAH SEGHROUCHNI. Professeur. Sorbonne Université, Faculté des Sciences,
Présidente du jury.

Agathe MERCERON. Professeur. Beuth University of Applied Sciences, Rapporteuse.

Sébastien GEORGE. Professeur. Le Mans Université, IUT Laval, Rapporteur.

Anne BOYER. Professeur. Université de Lorraine, Examinatrice.

Pierre BOULET. Professeur. Université de Lille, Examineur.

Raymond CHEVALLIER. Professeur, directeur des études. IMT Lille Douai, Examineur.

Jean-Marc LABAT. Professeur. Sorbonne Université, Faculté des Sciences, Directeur de thèse.

Nadine MANDRAN. Docteur, ingénieur pour la recherche (CNRS). Université Grenoble Alpes,
Co-encadrante.

To attain complete truth is not given to mortals, but to advance toward it by successive steps is not impossible.

Bertrand Russell, Political Ideals

Je sens que je vais vaincre le pilier du Dru, que plus rien ne m'en empêchera. Et je sens que j'ai passé de bien plus lointaines et invisibles frontières. Je sais que j'ai franchi la barrière qui me séparait de mon âme, je sens que le nœud que j'avais à l'intérieur de moi-même s'est enfin délié.

Walter Bonatti, Montagnes d'une vie

Quand je suis arrivé en haut de la montagne magique, j'ai découvert qu'il n'y avait pas de sommet, juste un chemin qui redescend en pente douce.

Jean Giraud alias Moebius, Giraud, histoire de mon double.

Remerciements

Ce travail de doctorat est le résultat des nombreuses collaborations, des fructueux échanges et des projets que j'ai pu mener au cours de ma vie professionnelle. Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont accompagné tout au long de ces expériences passionnantes.

Je remercie les rapporteurs, Agathe Merceron et Sébastien George, pour les remarques et conseils donnés à l'issue de la lecture de ce manuscrit. Je remercie Amal El Fallah Seghrouchni, Anne Boyer, Pierre Boulet et Raymond Chevallier d'avoir accepté de participer au jury de cette thèse.

Ce travail n'aurait pas été possible sans le soutien sans faille de Jean-Marc Labat, mon directeur de thèse, et Nadine Mandran qui a encadré mon travail durant ces deux années de thèse. Ils ont su me donner confiance et ont accompagné avec patience tout au long de ce doctorat tant sur les aspects scientifiques que méthodologiques. Je ne pouvais rêver meilleur tandem pour me guider sur les chemins sinueux de la recherche, et leurs conseils m'ont permis de surmonter les obstacles inhérents à un travail de thèse. Échanger, discuter et débattre avec Jean-Marc est un vrai plaisir qui motive chaque passage dans les bureaux de l'équipe MOCAH. Nadine est une personne passionnée et passionnante, mais aussi profondément humaine et chaleureuse : elle m'a transmis avec tact le savoir-faire et la rigueur nécessaires pour mener à bien mes recherches. Nadine, Jean-Marc, j'espère avoir la chance d'atteindre un jour votre niveau de bienveillance et de connaissance !

Je remercie l'équipe MOCAH dans son ensemble pour leurs conseils et leurs encouragements. En particulier, je remercie Vanda Luengo pour son aide sur les *learning analytics* et ses critiques toujours justes concernant mes présentations. Je remercie Amel, François, Thibault, Mathieu et Bertrand pour les riches échanges lors de mes passages à Paris, et bien sûr mes collègues doctorants : Alexis, Mathieu, Fatima, Guy, Gorgoumack, etc.

Je tiens aussi à remercier mes collègues de IMT Lille Douai à commencer par Gaëlle Guigon et Carole Portillo sans qui cette thèse n'aurait pas vu le jour : elle ont mis en musique avec moi les expérimentations et mis en place les moyens de les mener dans des conditions optimales. Elles ont surtout été des amies infailibles à tous les instants. Un grand merci à mes collègues et amis : Luc pour ses conseils sur $\text{\LaTeX}$ et ses idées souvent pertinentes, Anthony pour son aide avec le logiciel R et sa passion partagée pour les fromages alpins, Sébastien, Rémy, Jérémie, Noury, Guillaume et Isabelle pour m'avoir remonté le moral et partagé de nombreuses parties de jeux de plateaux, Abir pour les coups de mains avec l'anglais et ses avis éclairés. Mes remerciements vont en particulier à Jean-Luc Wojkiewicz pour m'avoir ouvert les portes de l'École des Mines de Douai en 2003, pour ses encouragements, son amitié et son investissement dans

les expérimentations menées. Je remercie aussi Jean-Loup Cordonnier et Jérôme Guenez pour m'avoir donné les moyens de réaliser ce travail, à Christian Valenti pour son soutien au niveau des ressources humaines et une nouvelle fois à Raymond Chevallier, directeur des études, pour son aide au plus au niveau. Je remercie évidemment les enseignants qui ont travaillé avec moi tout au long de ce doctorat. Je n'oublie pas les collègues et amis d'UNISCIEL, d'UNIT, de IMT, de l'Université de Lille et d'ailleurs : Katia, Sarah, Kathy, Sylvie, Karine, Manuel, Marie, Sindy, Pierre, Stéphane, Jean-Marie, Thierry, Julian, Fred, Magali, Vincent, Fabien, etc.

Mes mercis vont aussi à mes amis pour leur soutien et leur aide constante : Jannik et Audrey qui m'ont soutenus et m'ont accordé une bouffée d'oxygène prénommée Cléopée, Benjamin pour son amitié indéfectible, Jérémy et Christelle, Julie et André, Sylvia et Julien, Hélène, Juliette, les copains de Rocambole, le Club Alpin de Douai en particulier Chloé, Gabriel, Lisa et Christopher, Jeff, Pascal et Frédéric du club de minéralogie de Wasquehal, et tous ceux que j'oublie et que je ne devrais pas.

Je remercie ma famille pour leur encouragement tout au long de ces années et en particulier ma mère, mon frère Tom, mes grands parents, mais aussi Nicole et Jacqueline qui ont toujours cru en moi : merci pour tout. Maëlys et Nils, mes enfants chéris, pardonnez-moi pour mes absences réelles et virtuelles, papa reprend pour de bon un service à plein temps ! Laetitia, merci pour ta patience et ton amour, tes avis et ton pragmatisme : sans toi, tout cela n'aurait évidemment aucun sens.

Enfin, j'ai une pensée, une de celles qui ne vous quittent jamais, pour mon père Patrick. Tu m'as permis de cultiver ma curiosité pour les sciences et tu m'as transmis l'amour de la montagne. J'aimerais tant que tu puisses voir que l'une et l'autre me permettent d'atteindre les sommets que je me suis fixés.

Table des matières

1	Introduction : Définitions et Problématique	1
1.1	Contexte et Définitions	4
1.2	Problématique et Question de Recherche	8
1.3	Plan de la thèse	13
2	Une méthode de recherche ancrée sur le terrain : THEDRE	15
2.1	Le terrain d'étude : les enseignants de l'enseignement supérieur	17
2.2	Choisir une méthode de recherche adaptée à notre contexte	18
2.2.1	Une Recherche Informatique Centrée Humain (RICH)	19
2.3	La méthode THEDRE	19
2.3.1	Cycle PDCA et Démarche Centrée Utilisateur (DCU)	19
2.3.2	Descriptif de la méthode	20
2.3.3	Orchestration des expérimentations	22
2.3.4	Documents produits	23
2.4	Synthèse	24
3	État de l'Art : méthodes, modèles et types de <i>learning games</i>	25
3.1	<i>Meta-design</i>	27
3.2	Des paradigmes pour définir un type de <i>learning game</i> adéquat	28
3.2.1	La Méthode des Cas	29
3.2.2	Les Tests à Concordance de Script	29
3.2.3	Les jeux de rôles, livres dont vous êtes le héros et jeux de rôles pédagogiques	30
3.2.4	Bilan	30
3.3	Méthodes de Conception pour les <i>Learning Games</i>	31
3.3.1	MISA	31
3.3.2	DICE	32
3.3.3	Conceptual Framework for Serious Game	32
3.3.4	Les 6 facettes du jeu sérieux	33
3.3.5	Bilan	33
3.4	Modèles et Outils	34
3.4.1	WEEV	34
3.4.2	MoPPLiq	36
3.4.3	ATMSG	36
3.4.4	ScenLRPG	37
3.4.5	Legadee	38

3.4.6	Topaze pour la suite logicielle Scenari	39
3.4.7	Bilan	39
3.5	Synthèse	41
4	Premier Pas vers le <i>Meta-Design</i> : le Modèle DISCO et la Visualisation des Traces d'Usage des Apprenants	45
4.1	Définition d'un type de <i>learning game</i> : le <i>learning gamebook</i>	48
4.2	Un Premier Modèle de conception : DISCO	49
4.2.1	Première proposition, le modèle DISCO et la méthode associée	49
4.2.2	Visualisation de traces d'usages et réingénierie	52
4.3	Co-construction et évaluation du modèle DISCO	52
4.3.1	Une démarche exploratoire basée sur la conception de <i>learning games</i> existants	52
4.3.2	Passation et évaluation du modèle DISCO	55
4.4	Expérimentation du modèle DISCO : le <i>learning game</i> "Estimation du Bien-Être en Entreprise"	56
4.4.1	Objectifs généraux du jeu et contexte de l'expérimentation	56
4.4.2	Collecte des traces d'usage des apprenants	57
4.4.3	Environnement technique du jeu	58
4.4.4	Nature des données et catégorisation	59
4.4.4.1	Traitement et fouille de données	59
4.4.4.2	Catégorisation des chemins	62
4.4.5	Visualisation du chemins des apprenants	62
4.4.6	Analyse et réingénierie	64
4.5	Synthèse	66
5	Deuxième Itération : le Modèle DISC	69
5.1	Du besoin d'un modèle plus formel	72
5.2	Le modèle formel DISC	72
5.2.1	Construire une hiérarchie d'étapes autour du modèle du domaine D	72
5.2.2	La construction de S et la décomposition des étapes en études de cas	75
5.2.2.1	Le modèle des études de cas $Ec_{i,j}$	75
5.2.2.2	Indépendance des $Ec_{i,j}$ et type d'étude de cas	76
5.2.2.3	Un scénario des $Ec_{i,j}$ intégrant des activités	77
5.2.3	I , les activités et interactions	77
5.2.4	C , Le contexte d'usage de L_g	80
5.2.5	Méthode associée au modèle DISC	80
5.2.6	Passation du modèle	81
5.3	Seconde Expérimentation : le <i>Learning Game</i> "Missions à Emosson"	82
5.3.1	Définition du Modèle de domaine, des objectifs et du contexte	83
5.3.2	Conception du scénario et choix des interactions	85
5.4	Évaluation du modèle DISC	85
5.5	Analyse de traces pour la réingénierie des <i>Learning Games</i>	86
5.5.1	Visualisation des traces pour les enseignants	86
5.5.2	Évaluation du <i>learning games</i> MaE par les étudiants	87

5.5.3	Analyse des traces et du questionnaire par les enseignants et ré-ingénierie du <i>learning game</i>	90
5.5.4	Limites de la visualisation des traces	91
5.6	Indicateurs et tableaux de bord pour les enseignants	93
5.6.1	Indicateur de difficulté basé sur le temps	93
5.6.2	Interprétation de l'indicateur de difficulté	94
5.6.3	Calcul de l'indicateur pour le <i>learning game</i> MaE	94
5.6.4	Vers un tableau de bord pour les enseignants	95
5.7	Synthèse	95
6	Perspectives et conclusion	97
6.1	Perspectives immédiates	97
6.1.1	Intégrer le <i>flow</i>	97
6.1.2	Outiller l'analyse de traces	98
6.1.3	Le modèle CasSCADDe	99
6.1.3.1	Proposition	99
6.1.3.2	Genèse du modèle	101
6.1.3.3	Expérimentation à venir	101
6.1.4	Vers d'autres modèles de <i>learning games</i>	102
6.2	Conclusion	102
6.2.1	Rappel des objectifs et questions de recherche	102
6.2.2	Méthode de recherche et contributions	103
6.2.3	Limites et ouverture	104
A	Logigramme proposé par THEDRE pour définir les protocoles de recueil de traces auprès des utilisateurs	115
B	Guide pour la définition d'un protocole expérimental selon THEDRE	119
C	Scénario de l'étude de cas de la Batiaz du <i>learning game</i> MaE	123
D	Extrait du fichier anonymisé de traces des apprenants du <i>learning games</i> "Estimation du bien-être en entreprise" (EBE)	125
E	Questionnaire d'évaluation du <i>learning game</i> MaE	127
F	Extrait du fichier anonymisé de traces des étudiants de l'ESTP du <i>learning game</i> "Missions à Emosson"	129

Liste des figures

1.1	Définition du jeu selon Caillois.	5
1.2	Le jeu sérieux et la définition du jeu selon Caillois	6
1.3	<i>Design Phase</i> et <i>Use Phase</i> au sein du <i>Meta-design</i> selon Fischer [Fischer et al., 2004].	9
1.4	<i>Meta-design</i> des <i>learning games</i> pour les enseignants avec processus d'amélioration continue.	12
2.1	Méthode THEDRE : 3 contextes, 5 sous-processus, 4 acteurs, Cycle PDCA et Démarche Centrée Utilisateurs (DCU) d'après [Mandran, 2017].	20
2.2	Représentation des 5 sous-processus et des 9 blocs de la méthode THEDRE avec le langage de représentation proposé par Mandran [Mandran, 2017].	21
2.3	Diagramme d'orchestration pour les outils activables DISC et "Missions à Emosson"	23
3.1	Le modèle générique DICE du processus de conception de <i>Serious Game</i> .	32
3.2	Diagramme de classe du <i>Conceptual Framework for Serious Game</i> selon [Yusoff, 2010].	33
3.3	Les 6 facettes du jeu sérieux d'après [Marne et al., 2012b].	34
3.4	Le modèle de développement WEEV avec le contexte d'implémentation <e-Adventure> d'après [Moreno-Ger et al., 2008].	35
3.5	Extrait d'un scénario de jeu sérieux (Les Cristaux d'Éhère, http://seriousgames.lip6.fr/Cristaux_Ehere/) modélisé avec APPLiQ montrant un état de sortie d'une étape.	36
3.6	Le modèle ATMSG et trois types d'activités composant le <i>learning game</i> d'après [Carvalho et al., 2015].	37
3.7	Plan global d'un scénario : un exemple fondé sur des simulations d'entretiens clients (conseil en crédit immobilier) d'après Mariais [Mariais et al., 2011].	38
3.8	Méthodologie de conception de <i>learning games</i> avec l'outil Legadee.	39
3.9	Principe d'une chaîne éditoriale d'après [Gebers and Crozat, 2010].	40
3.10	Interface de Scenari avec le modèle Topaze.	41
4.1	Diagramme d'orchestration des outils activables DISCO et du <i>learning game</i> EBE	47
4.2	Éléments constitutifs du modèle DISCO.	51
4.3	Méthode de conception associée au modèle DISCO comprenant la phase itérative de conception du scénario.	51

4.4	Capture d'écran du <i>learning game</i> "Les ECSPER : Le robot tueur".	53
4.5	Exemple d'un extrait de la carte mentale décrivant le graphe de scénario S d'un <i>learning game</i>	56
4.6	Capture d'écran du <i>learning game</i> "Estimation du bien-être en entreprise".	57
4.7	Schéma de l'expérimentation d'EBE	58
4.8	Dendrogramme présentant les pas de EBE en fonction de la fréquence de leur association au sein de l'ensemble des 155 chemins étudiés avec la fonction <i>dissimilarity</i> de R (distance euclidienne) et les trois catégories repérées.	61
4.9	Nombre d'apprenants par nombre de pas vus.	63
4.10	Derniers pas vus par les apprenants qui ont réalisé plus de 35% du jeu (i.e. de la catégorie des abandons).	63
4.11	Visualisation du chemin d'un apprenant réalisée avec Undertracks.	64
4.12	Un erreur majeure visible dans le parcours d'un étudiant (visualisée avec Undertracks) et la représentation sous forme de graphe associée.	65
4.13	Visualisation avec Undertracks des chemins des 9 étudiants ayant obtenu un <i>game over</i> . La séquence [AB, AC, AU, AF] est encadrée en noir.	66
5.1	Diagramme d'orchestration des outils activables DISC et du <i>learning game</i> "Missions à Emosson".	71
5.2	Les éléments constitutifs du modèle DISC.	73
5.3	Exemple d'ensemble de compétences et graphe montrant les liens de pré-requis entre ces compétences. Une flèche signifie "est un pré-requis de".	73
5.4	Structure du modèle DISC.	74
5.5	Modèle de graphe des $S_{i,j}$ sous forme de diagramme d'activités (UML).	78
5.6	Exemple de bonus disponibles : un bonus vers un contenu additionnel, un bonus au score en point, un badge certifiant la réussite de l'étape en cours.	80
5.7	Méthode associée au modèle DISC.	81
5.8	Capture d'écran du <i>learning game</i> "Missions à Emosson".	83
5.9	Étapes et études de cas du <i>learning game</i> "Missions à Emosson".	84
5.10	Extrait du graphe D de "Missions à Emosson" : le graphe D_2 sur lequel est basé E_2	84
5.11	Visualisations avec <i>Undertracks</i> du chemin de l'étudiant 662 avec focus sur l'étude de cas "La Batiaz" et du scénario associé.	87
5.12	Exemple d'un écran de MaE correspondant à un pas de navigation (en vert dans la seconde visualisation).	88
5.13	Exemple d'un écran de MaE correspondant à un pas expositoire (en bleu dans la seconde visualisation).	88
5.14	Exemple d'un écran de MaE correspondant à un pas d'interactions (en rouge dans la seconde visualisation).	89
5.15	Les 39 premiers chemins des étudiants de l'ESTP avec la première visualisation (une couleur = un pas) avec <i>Undertracks</i>	92
6.1	Méthode associée au modèle CasSCADDe intégré dans une démarche <i>meta-design</i>	100

6.2	Diagramme d'orchestration des outils activables : CasSCADDe, du <i>learning game</i> en biologie et de l'outil de visualisation associé au modèle. . .	101
-----	--	-----

Chapitre 1

Introduction : Définitions et Problématique

La notion de jeu a souvent été liée à l'apprentissage. Que ce soit chez l'enfant ou chez l'adulte, nombre de jeux ont pour objectif, caché ou non, déterminé à sa conception ou non, d'acquérir des concepts, des compétences ou des méthodes. Le millénaire jeu de go a par exemple été utilisé pour entraîner les samouraïs à la stratégie militaire dans le Japon médiéval. Pour autant l'apprentissage scolaire ou universitaire a peu laissé de place au jeu, le considérant souvent comme purement futile et à l'opposé des objectifs de l'enseignement, méfiance exprimée par exemple par Hegel [Hegel, 1820] :

La pédagogie du jeu traite l'élément puéril comme quelque chose de valable en soi, le présente aux enfants comme tel, et rabaisse pour eux ce qui est sérieux, et elle-même à une forme puérile peu considérée par les enfants. En les représentant comme achevés dans l'état d'inachèvement où ils se sentent, en s'efforçant ainsi de les rendre contents, elle trouble et elle altère leur vrai besoin spontané qui est bien meilleur.

Depuis quelques années, cette idée a été largement revue avec l'arrivée des jeux sérieux (ou *serious games*), souvent liés au développement du jeu vidéo survenu ces quarante dernières années. Ce concept propose de coupler des aspects sérieux, l'apprentissage par exemple, avec des aspects ludiques dans un environnement donné (informatique ou non). À l'instar des autres outils du numérique éducatif, les enseignants peinent à concevoir, développer et s'approprier ces outils complexes et à les intégrer au sein de leur enseignement. Dans le cas de l'enseignement supérieur, ce constat est renforcé par la multiplicité des missions des enseignants-chercheurs, souvent non formés à la pédagogie et rarement disponibles pour se former aux concepts et outils récents. De ce fait les questions d'une part de la conception des jeux sérieux, et d'autre part de leur usage dans l'enseignement, en particulier par les enseignants-chercheurs se posent avec acuité.

L'objectif du travail de recherche présenté dans ce document est de faciliter la conception de jeux sérieux par les enseignants, de favoriser l'adoption de ces EIAH (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain) et plus largement leur usage au sein de l'enseignement supérieur. Plusieurs verrous ont été identifiés dans la littérature et tout au long de notre expérience professionnelle. Ces derniers font l'objet de nombreux travaux et pointent divers aspects relatifs à l'objet "jeu sérieux" ou *serious game*, un concept souvent mal compris ou mal perçu par les enseignants du supérieur non familiers du domaine des EIAH et/ou du jeu en général.

Ce travail de recherche se place ainsi dans la problématique de l'identification et de la définition des méthodes, des modèles et des outils pour favoriser la conception, l'adoption et l'usage des jeux sérieux par les enseignants (qui découle de la problématique de l'ingénierie des EIAH¹). Intéressé par cette problématique, j'ai contacté l'équipe MOCAH (Modèles et Outils en ingénierie des Connaissances pour l'Apprentissage Humain) et réalisé cette thèse de doctorat au sein de celle-ci. L'équipe MOCAH est spécialisée dans l'utilisation de technologies fondées sur l'intelligence artificielle (ingénierie des connaissances, ontologies, agents conversationnels, fouille de données, ...) pour l'aide à l'apprentissage humain. Une grande partie des travaux de l'équipe vise à proposer des

1. Tchounikine [Tchounikine, 2002] définit l'ingénierie des EIAH comme : les travaux visant à définir des concepts, méthodes et techniques reproductibles et /ou réutilisables facilitant la mise en place (conception – réalisation – expérimentation – évaluation – diffusion) d'environnements de formation ou d'apprentissage (dans leur articulation avec les dispositifs informatiques d'aujourd'hui) en permettant de dépasser le traitement *ad hoc* des problèmes.

modèles intégrant les connaissances humaines dans des systèmes d'aide à l'apprentissage afin d'améliorer les modèles de l'apprenant, le diagnostic, le *feedback* et les systèmes eux-mêmes. Les expérimentations présentées dans ce document ont été réalisées dans le cadre de l'enseignement supérieur et avec des enseignants-chercheurs d'universités et d'écoles d'ingénieurs le plus souvent issus des écoles de l'Institut Mines Telecom (IMT, qui regroupe l'ensemble des écoles d'ingénieurs des Mines et Telecom en France, en particulier de IMT Lille Douai (ex-école des Mines de Douai) où je travaille comme ingénieur pédagogique) et des établissements partenaires associés lors des expérimentations.

Ce chapitre débute par la présentation du contexte et fixe entre autres les définitions de jeu sérieux et de *learning games* reprises tout au long de ce travail, ainsi qu'une courte introduction à la visualisation de traces d'apprenants lors de l'usage de ces EIAH. La problématique générale et les questions de recherche sont précisées dans une seconde partie. La troisième partie décline les hypothèses travaillées tout au long de ce doctorat. Enfin, une dernière partie donne le plan général de ce document.

1.1 Contexte et Définitions

Définir le jeu n'est pas une chose aisée [Mariais, 2012]. Plusieurs auteurs venant de différents horizons ont donné diverses définitions, caractéristiques ou propriétés, souvent en relation avec l'enfant et son développement. La classification des différents types de jeu semble encore plus difficile. Pour autant, il semble délicat d'aborder le sujet des *serious games* sans donner quelques éléments sur la notion de jeu. Selon le Larousse, le jeu se définit comme une

activité de loisir soumise à des règles conventionnelles, comportant gagnant(s) et perdant(s) et où interviennent, de façon variable, les qualités physiques ou intellectuelles, l'adresse, l'habileté et le hasard [...]

Une définition plus précise est donnée par Caillois [Caillois, 1958]. Il définit le jeu comme une activité

1. libre : à laquelle le joueur ne saurait être obligé sans que le jeu perde aussitôt sa nature de divertissement attirant et joyeux ;
2. séparée : circonscrite dans des limites d'espace et de temps précises et fixées à l'avance ;
3. incertaine : dont le déroulement ne saurait être déterminé ni le résultat acquis préalablement, une certaine latitude dans la nécessité d'inventer étant obligatoirement laissée à l'initiative du joueur ;
4. improductive : ne créant ni biens, ni richesse, ni élément nouveau d'aucune sorte ; et, sauf déplacement de propriété au sein des joueurs, aboutissant à une situation identique à celle du début de la partie ;
5. réglée : soumise à des conventions qui suspendent les lois ordinaires et qui instaurent momentanément une législation nouvelle, qui seule compte ;
6. fictive : accompagnée d'une conscience spécifique de réalité seconde ou de franche irréalité par rapport à la vie courante.

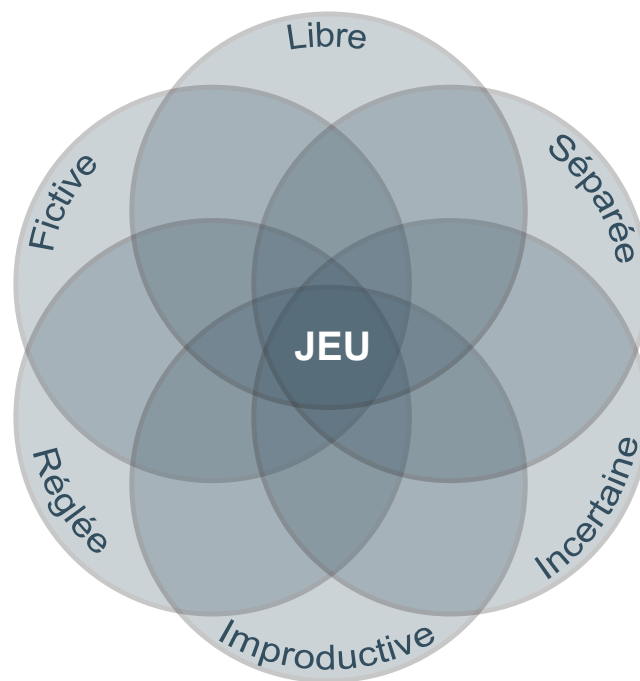


Figure 1.1 – Définition du jeu selon Caillois.

Ces propriétés (Fig. 1.1), que l'on retrouve sous une autre forme chez Brougère [Brougère, 2005], donne un aperçu de la complexité de la notion de jeu qui fait intervenir différents paramètres : social, psychologique, matériel, etc. L'intérêt du jeu pour le développement de l'enfant est régulièrement pointé par les auteurs tels Vygotsky. Ce dernier [Vygotsky, 1980] considère, par exemple, que le jeu permet à l'enfant de rentrer et de progresser dans sa zone proximale de développement, celle-ci augmentant le potentiel de l'enfant à apprendre plus efficacement. Se pose alors la question de la conception de jeu avec un objectif d'apprentissage défini en amont et de la pertinence d'une telle conception.

Le terme *jeu sérieux* (en anglais *serious game*) possède plusieurs définitions, en fonction du contexte et des auteurs tels Abt [Abt, 1987] ou Michael [Michael and Chen, 2005]. Il est frappant de constater que l'expression, souvent décrite et à tort comme un oxymore (d'après Freud, "le contraire du jeu n'est pas le sérieux mais la réalité"), donne lieu à des interprétations très variées. Alvarez, Djaouti et Rampnoux [Alvarez et al., 2016] donnent une définition précisant bien l'ambiguïté du concept :

un *serious game* est un dispositif, numérique ou non, dont l'intention initiale est de combiner, avec cohérence, à la fois des aspects sérieux avec des ressorts ludiques issus du jeu, vidéoludique ou non.

Nous considérons ici que les aspects sérieux considérés sont l'apprentissage et l'enseignement. Pour plus de clarté et pour éviter les quiproquos, nous définissons plus précisément le terme *learning game* en restreignant la définition ci-dessus au cas de l'apprentissage (qui peut donc être vu comme un sous-ensemble du *serious game*). Nous nous rapprochons de la définition proposée par Fabricatore [Fabricatore, 2000] :

[...] a virtual environment and a gaming experience in which the contents

*that we want to teach can be naturally embedded with some contextual relevance in terms of the game-playing [...]*²

Au sens de Caillois, un *learning game* ne peut être considéré comme un jeu à part entière. En effet, Brougère [Brougère, 2005] souligne que l'utilisation du jeu dans un contexte d'enseignement va altérer certaines de ses caractéristiques. L'aspect sérieux de celui-ci, l'apprentissage, suppose des contraintes données par le contexte, un enseignant ou l'institution, et de fait diminue voire supprime l'impression de liberté (Fig. 1.2). Un

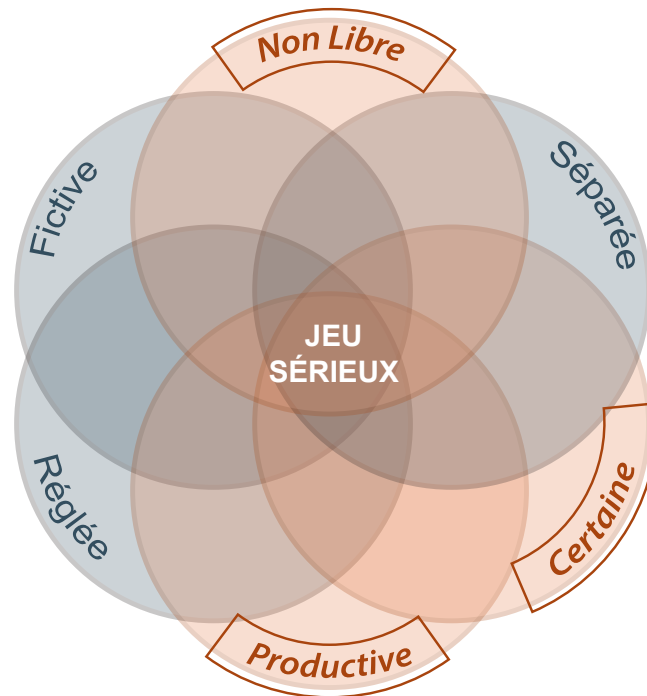


Figure 1.2 – Le jeu sérieux et la définition du jeu selon Caillois

learning game peut, par exemple, être choisi comme une activité pédagogique au sein d'un parcours de formation, l'apprenant étant contraint de participer à l'activité. L'aspect incertain est incompatible avec les objectifs donnés par l'activité pédagogique. Enfin, le caractère improductif du jeu semble incompatible avec la notion d'apprentissage. Par ailleurs, certains auteurs font la distinction entre l'objet *learning game* et l'action de jouer. Sanchez et al. [Sanchez et al., 2015] fait ainsi la distinction entre

[...] [le] matériel de jeu ou à la structure (*game*), [...] la situation qui se met en place lorsque l'apprenant accepte de jouer (*play*) ou [...] l'activité de jouer elle-même (*playing*).

Dans la suite de ce travail nous considérons principalement l'aspect *game* (et donc l'objet-jeu) du *learning game* au sens de Sanchez, ce qui ne veut pas dire l'aspect *play* ne rentre pas aussi en considération.

2. Que l'on peut traduire par : [...] un environnement virtuel et une expérience ludique dans lesquels les contenus que l'on souhaite enseigner peuvent être intégrés de façon naturelle, contextuel et avec pertinence en terme de jeu [...]

Une singularité du concept de *learning game* est d'associer plusieurs champs d'expertise : ceux relatifs aux concepts liés au jeu et au jeu vidéo, ceux relatifs à l'apprentissage et l'enseignement, et ceux relatifs aux disciplines et thématiques objets de l'apprentissage (ces deux derniers champs d'expertise étant communs aux EIAH en général, ce qu'on retrouve dans les travaux de Paquette par exemple [Paquette et al., 1999]). En particulier, les acteurs intervenants dans la conception de ces EIAH peuvent être nombreux et parfois étrangers aux notions manipulées dans les *learning games*. Marne [Marne, 2014] a ainsi exploré la problématique de la conception multi-expertise des *serious games* en proposant une approche *meta-design* de ces EIAH avec, entre autres la définition d'un modèle facilitant la conception participative des *serious games* en décrivant le scénario de ces derniers pour le rendre accessible aux enseignants auteurs. Ses travaux montrent l'importance de la réingénierie des *serious games* par les enseignants eux-mêmes pour permettre leur adoption par ces derniers. Une définition de la réingénierie d'un système est donnée par Chikofsky et Cross [Chikofsky and Cross, 1990] comme suit :

*reengineering, also known as both renovation and reclamation, is the examination and alteration of a subject system to reconstitute it in a new form and the subsequent implementation of the new form*³

À partir de cette définition, Choquet [Choquet, 2007] définit la réingénierie pédagogique d'un EIAH comme

[...] étant l'examen d'une situation pédagogique médiatisée et la modification du dispositif d'apprentissage (l'EIAH proprement dit, mais aussi son contexte, tel que le rôle des acteurs, le contexte d'usage, les possibilités d'observation de l'activité) afin de reconstituer ce dernier sous une nouvelle forme et mettre ainsi en place une nouvelle situation pédagogique, prenant mieux en compte les usages observés et l'évolution des pratiques pédagogiques.

La réingénierie suppose donc une analyse globale de l'EIAH pour mettre en place une démarche d'amélioration de celui-ci à partir des données collectées auprès des acteurs gravitant autour de cet EIAH. Cette analyse impose au préalable le recueil de ces données issues des usages de l'EIAH par ces différents acteurs [Choquet and Iksal, 2007].

Pour faciliter cette analyse, un champ relativement récent de la recherche en EIAH propose des travaux intéressants : la visualisation de traces des apprenants lors de l'usage des EIAH (et par extension des *learning games*) et l'analyse de ces traces d'usage. Ces travaux sont constitutifs du domaine des *learning analytics* qui interviennent dans de nombreux domaines des EIAH. Ils sont définis comme :

*Learning analytics is the measurement, collection, analysis and reporting of data about learners and their contexts, for purposes of understanding and optimising learning and the environments in which it occurs.*⁴ [Ferguson, 2012]

Les travaux de Sanchez, Emin-Martinez et Mandran [Sanchez et al., 2015] illustrent concrètement l'intérêt de ces derniers dans notre contexte : la visualisation de traces

3. que l'on peut traduire par "l'examen et la modification d'un système afin de le reconstituer sous une nouvelle forme et d'implanter cette nouvelle forme"

4. que l'on peut traduire par : [...] la mesure, la collecte, l'analyse et la présentation de rapports basés sur des données des apprenants en contexte d'apprentissage dans le but de comprendre et d'optimiser l'apprentissage et le contexte.

d'apprenants pour les *learning games*. La plate-forme Undertracks [Mandran et al., 2015] offre la possibilité de visualiser le parcours des apprenants au sein du *learning game* sous un format graphique exploitable. Parmi d'autres équipes, l'équipe MOCAH travaille sur de nombreux chantiers autour de la visualisation de traces d'apprenants [Labarthe et al., 2016] [Lebis et al., 2016] [Toussaint et al., 2017] [Harrak et al., 2017] et participe au projet Hubble⁵ qui vise à créer un observatoire pour la construction et le partage des processus d'analyse de données massives, issues des traces laissées dans les EIAH. Comme évoqué précédemment, des travaux, dont ceux de Choquet et Iksal [Choquet and Iksal, 2007] pointent l'intérêt des *learning analytics* pour la réingénierie des EIAH.

Les *learning analytics* font intervenir de multiples compétences parfois complexes. Ce travail de thèse ne s'intéressera à ceux-ci que comme un outil nécessaire à la collaboration au niveau de l'usage des *learning games* ou à l'adoption des ces derniers par les enseignants (par exemple pour la réingénierie).

Enfin, Marne a proposé de s'approcher d'une méthode de conception qu'il juge adapté à la conception de *serious games* : le *meta-design*. Fischer [Fischer et al., 2004] le définit comme suit :

*Meta-design characterizes objectives, techniques, and processes for creating new media and environments allowing "owners of problems" (that is, end users) to act as designers. A fundamental objective of meta-design is to create socio-technical environments that empower users to engage actively in the continuous development of systems rather than being restricted to the use of existing systems.*⁶

Dans le cas des *learning games*, les utilisateurs finaux (*end users*) sont à la fois les apprenants et les enseignants. Dans cette thèse, nous nous intéressons aux enseignants comme utilisateurs finaux. Fischer [Fischer et al., 2004] fait intervenir deux temps dans le *Meta-design* : la phase de conception (*Design Phase*) et la phase d'usage (*Use Phase*). Il précise que les utilisateurs finaux peuvent être représentés par un panel d'utilisateurs représentatifs de l'ensemble de ceux-ci.

De fait, les travaux menés dans ce doctorat s'inscrivent dans la continuité des travaux de Marne et de l'équipe MOCAH. Nous reviendrons largement sur le *meta-design* dans ce document.

1.2 Problématique et Question de Recherche

Depuis près de 15 années, j'occupe un poste d'ingénieur pédagogique et TICE (Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement) au sein d'une école d'ingénieur. Mes tâches sont, entre autres, d'aider les enseignants du supérieur à définir et mettre en place de nouvelles modalités pédagogiques et de créer puis produire

5. <http://hubblelearn.imag.fr/?lang=fr> et <https://sakura-hubble.liglab.fr/>

6. Dont une traduction pourrait être : le *Meta-design* définit les objectifs, les techniques et les processus pour créer de nouveaux médias et environnements permettant aux "propriétaires des problèmes" (c'est-à-dire les utilisateurs finaux) d'agir en tant que concepteurs. Un objectif fondamental du *Meta-design* est de créer des environnements socio-techniques qui permettent aux utilisateurs de s'engager activement dans le développement en continu des systèmes plutôt que de se limiter à l'utilisation des systèmes existants.

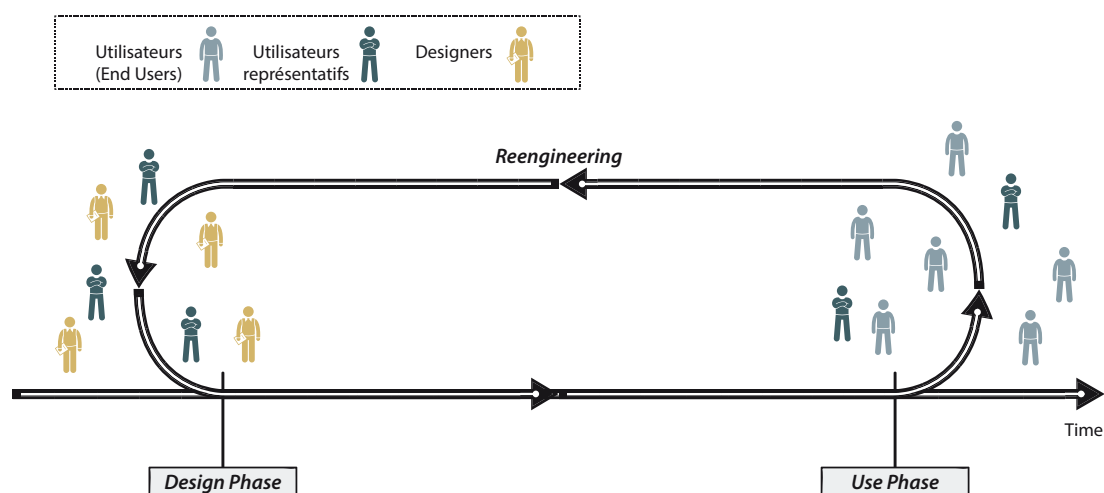


Figure 1.3 – *Design Phase* et *Use Phase* au sein du *Meta-design* selon Fischer [Fischer et al., 2004].

les supports associés à celles-ci. Dans une démarche d'innovation au sein de mon établissement, mais aussi en dehors de celui-ci (universités, groupe d'universités par exemple), j'ai piloté la conception et l'implémentation d'innovations techniques pour répondre aux objectifs pédagogiques des enseignants. Ces travaux m'ont permis d'identifier empiriquement nombres de freins à la conception et à la diffusion de leurs pratiques et de leurs productions auprès de leurs collègues. Ce constat, conforté par de nombreux chercheurs tels Tchounikine [Tchounikine, 2002], Mariais [Mariais, 2012], Marfisi [Marfisi-Schottman, 2012] ou Marne [Marne, 2014], et les travaux de l'équipe MOCAH, a initié une réflexion autour des méthodes et outils de conception des EIAH. Au delà des outils et des processus, j'ai pu juger de l'importance du facteur humain dans la conception des EIAH, tant dans les phases de conception que d'usage. C'est de l'échange, de la collaboration et du partage entre différents experts scientifiques, techniques et pédagogiques que naissent les EIAH.

Durant cette période, les enseignants ont été témoins et acteurs de l'émergence d'outils au potentiel intéressant tels, dans le domaine des EIAH et de façon non-exhaustive : les *serious games*, les MOOC (i.e. *Massive Online Open Courses*), les EIAH ubiquitaires, etc. Ces outils ou modalités ont participé à, ou sont la conséquence, une évolution du métier d'enseignant. Pour autant, l'usage du numérique éducatif est encore peu développé, particulièrement dans l'enseignement supérieur. Plusieurs causes justifient ce constat : nous pouvons par exemple remarquer le manque d'outils facilitant la conception des EIAH et le faible usage de ceux-ci par les enseignants (un constat régulièrement réalisé dans le domaine des EIAH⁷).

Le cas des *learning games* est emblématique de cet état de fait. En effet, bien que largement présents dans le monde de l'entreprise, et malgré de nombreuses réalisations montrant leur intérêt quant à la construction de compétences et de savoirs par les ap-

7. Par exemple dans la conclusion de la table ronde "Liens entre recherche et entreprises" de la conférence EIAH 2017, Strasbourg

prenants, quant au renforcement de l'attractivité et de la motivation auprès de ceux-ci, les outils et les méthodologies manquent pour les créer, tant au niveau de la conception qu'au niveau de la production [Mariais et al., 2011]. Le monde de l'enseignement supérieur est impacté, mais avec un engouement moins important. Des facteurs peuvent expliquer ce phénomène tels que :

1. la méconnaissance de l'objet "jeux sérieux" ou du type de *serious game* adapté à l'enseignement supérieur [Marfisi-Schottman et al., 2013],
2. la difficile implication des enseignants dans le processus de conception des *serious games* [Marne, 2014],
3. de gros investissements initiaux pour l'acquisition de compétences expertes et un public réduit limitant le retour sur investissement [George, 2010],
4. la difficulté d'identifier et/ou de concevoir les éléments constitutifs d'un *serious game* [Marne, 2014],
5. la perte de contrôle de l'enseignant quant à l'usage des *serious game* avec les apprenants [Egenfeldt-Nielsen, 2004],
6. une multiplicité des expertises nécessaires à la conception de *serious games* de laquelle naît une incompréhension entre les différents acteurs détenteurs d'expertises distinctes [Tchounikine, 2002].
7. des développements spécifiques dédiés, difficilement réutilisables sans une forte adaptation (liée au choix de l'enseignant) [Marne and Labat, 2012],
8. des outils auteurs complexes nécessitant des compétences informatiques [Djaouti, 2011] [Marfisi-Schottman et al., 2013].

Ces deux derniers points méritent particulièrement notre attention : en effet, les enseignants de l'enseignement supérieur, même convaincus du potentiel du numérique éducatif dans lequel s'inscrivent les *learning games*, peinent à se les approprier pour changer leur pédagogie [Egenfeldt-Nielsen, 2004] et ont encore bien plus de difficultés à s'approprier les outils auteurs pour construire leurs propres ressources. La conception de ressources pédagogiques par eux-mêmes, ou même simplement leur participation à la conception serait pourtant probablement un gage d'une meilleure utilisation de celles-ci.

La littérature montre différentes approches dans ce cadre. La conception participative (*participatory design*) propose une approche intéressante en faisant travailler ensemble les concepteurs détenteurs d'expertises différentes et les utilisateurs finaux [Muller, 2003] :

*Participatory design (PD) is a set of theories, practices, and studies related to end-users as full participants in activities leading to software and hardware computer products and computer-based activities.*⁸

Dans un autre contexte, les approches agiles [Cohn, 2004] visent à faciliter les échanges entre concepteurs, développeurs et utilisateurs finaux (ou clients) tout au long d'un

8. *Participatory design* est un ensemble de théories, de pratiques et d'études relatives aux utilisateurs finaux en tant que participants à part entière dans les activités menant à la conception des produits informatiques, logiciels et matériels, et des activités informatiques.

processus itératif de conception. Ces dernières intègrent des indicateurs de suivi du processus qui donnent des critères objectifs quant à l'amélioration des différentes itérations, mais aussi, pour certaines, un ensemble d'outils facilitant le suivi du projet (telle SCRUM [Schwaber, 2004]).

Ces approches pointent l'importance de l'humain (concepteurs, utilisateurs, etc.) et les placent au cœur du processus de conception dans une démarche collaborative. Elles visent toutes deux à faire intervenir au sein du processus de conception les utilisateurs finaux (*End Users*) des produits finaux (logiciels par exemple).

D'autre part et comme évoqué précédemment, les travaux de Marne [Marne, 2014] montrent l'importance de la réingénierie des *learning games*, et en particulier du scénario de ceux-ci. Ce point semble essentiel et pourrait être un critère d'adoption (et donc d'usage) de ces EIAH par les enseignants. D'autres travaux montrent que ce processus de réingénierie nécessite des traces d'usage des EIAH (retours, feedbacks, données) par les apprenants [Choquet and Iksal, 2007]. La visualisation de ces traces par les enseignants faciliterait cette phase de réingénierie et donc l'appropriation et l'adoption (et ainsi l'usage) des *learning games*.

Problématique

La problématique est ainsi de définir des modèles, des méthodes et des outils pour la conception des *learning games* qui associent étroitement les enseignants, et leur évolution afin de favoriser leur adoption.

Pour aborder cette problématique, nous nous sommes placé dans le prolongement des travaux de l'équipe MOCAH. En considérant les enseignants comme les utilisateurs finaux (à l'instar des apprenants et étudiants), la conception collaborative avec les enseignants et la démarche de réingénierie via la visualisation et l'analyse de traces d'usage des apprenants participent à la notion de *meta-design* [Fischer et al., 2004], une démarche de co-conception entre les différents acteurs de la conception d'EIAH qui s'adapte bien aux *learning games* [Marne, 2014]. De fait, les travaux décrits dans cette thèse visent à **mettre en place une approche *meta-design* pour la conception, l'évolution et l'amélioration des *learning games* par les enseignants du supérieur.**

La première question de recherche est donc de définir **une approche *meta-design* des *learning games*.**

Cette question entraîne deux autres questions de recherche, chacune d'entre-elles intervenant dans les deux phases du *meta-design*.

La seconde question de recherche est de définir **un modèle formel simple et représentable pour faciliter la conception collaborative de *learning games* avec les enseignants de l'enseignement supérieur.**

Nous nous situons ici dans la partie conception (*Design Stage*) de la démarche de *meta-design*.

Une troisième question de recherche est d'articuler le modèle de *learning games* avec un outil de visualisation des traces des étudiants pour détecter des séquences d'usage problématiques (*pattern*) et ainsi faciliter le processus de réingénierie pour favoriser l'appropriation de ces EIAH par les enseignants.

Cette question, relative à l'usage des *learning games* (*Use Stage*), traite de l'amélioration continue [Sokovic et al., 2010] et de la réingénierie de ces EIAH par les utilisateurs finaux (dans notre cas, les enseignants).

Pour répondre à la seconde question de recherche, notre travail a été centré sur une analyse des modèles de *learning games* existants. Fort de cet état de l'art, nous formulons la proposition suivante : **le modèle formel doit être suffisamment simple pour permettre une conception collaborative avec les enseignants.** De plus, **le modèle doit préciser les objets informatiques à mettre en place par les enseignants dans la phase de conception.**

La troisième question se focalise sur l'usage des *learning games*. Toujours au travers de l'état de l'art réalisé, nous formulons la proposition suivante : **le travail collaboratif mené lors de la phase de conception doit se poursuivre dans la phase d'usage.** Ainsi, **le modèle doit faciliter la réingénierie des *learning games* et être associé à des outils de visualisation des traces d'usage des apprenants pour faciliter l'analyse des usages.**

En répondant à ces deux questions, nous répondrons à la première question de recherche. En intégrant un cycle d'amélioration continue et sur la base de la définition du *meta-design* de Fischer [Fischer et al., 2004], nous proposons un processus itératif et collaboratif pour la conception de *learning games* (figure 1.4).

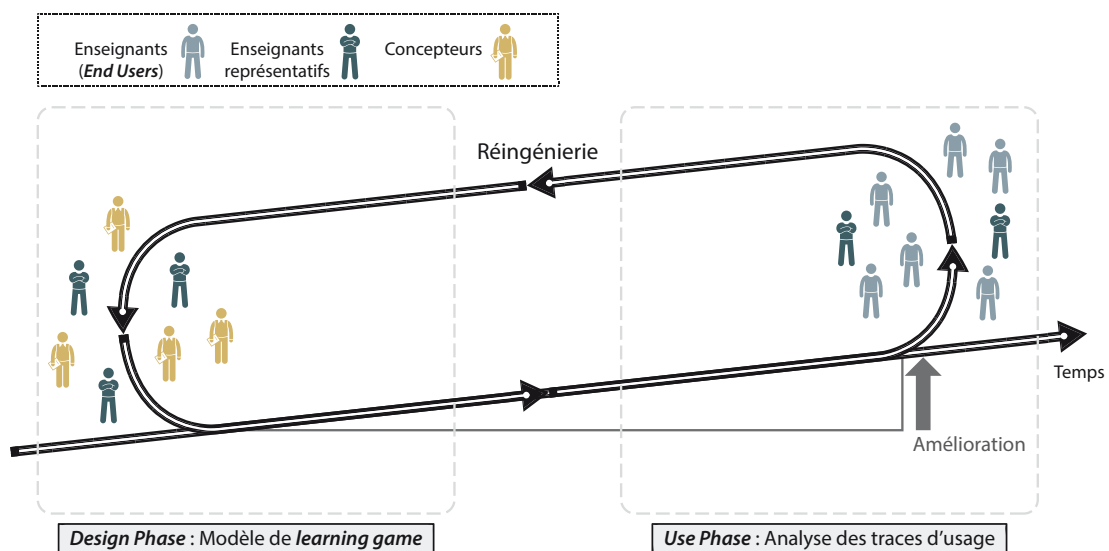


Figure 1.4 – *Meta-design* des *learning games* pour les enseignants avec processus d'amélioration continue.

1.3 Plan de la thèse

Cette thèse est structurée en six chapitres. Outre ce premier chapitre spécifiant le contexte, la problématique et les questions de recherche abordées, nous précisons dans un second chapitre la méthode de conduite de la recherche choisie pour mener ces travaux basée sur THEDRE, une méthode proposée par Mandran [Mandran, 2017]. Cette méthode sera évoquée tout au long de ce manuscrit et structurera les chapitres suivants.

Un troisième chapitre récapitule notre étude de l'état de l'art des méthodes, puis des modèles et outils de conception de *serious games* et de *learning games*. Nous évoquons ici l'intérêt de la méthode des cas [Dooley and Skinner, 1977], entre autres, pour définir un type de *learning game* adapté à l'enseignement supérieur baptisé "Learning Gamebook".

Les chapitres quatre et cinq constituent le cœur de cette thèse en reprenant la méthode de recherche itérative détaillée dans le second chapitre. Le quatrième chapitre propose une première itération de notre modèle de *learning game* défini d'après l'état de l'art et d'une phase exploratoire basée sur l'expérience de terrain de conception de *learning games*. Nous présentons une première approche quant à la visualisation des traces des apprenants avec et pour les enseignants. Une expérimentation y est décrite, suivie d'un bilan. À l'aune de ces premiers travaux, le cinquième chapitre contient une description du modèle formel DISC (seconde itération du modèle), l'expérimentation menant à la création d'un second *learning game* puis à son évaluation en vue de réaliser une réingénierie de celui-ci aboutissant à une nouvelle version de ce dernier. En fin de chapitre, nous définissons des indicateurs pour faciliter l'analyse des traces des apprenants lors de l'usage du *learning game*.

Un sixième et dernier chapitre propose les perspectives du travail présenté dans ce manuscrit. En particulier, nous esquissons une troisième itération du modèle (baptisée CasSCADDe) conçu suite à l'évaluation du modèle DISC. Il intègre, entre autres, la notion de flow [Csikszentmihalyi, 1975], un concept largement repris dans les domaines du jeu [Chen, 2007]. Ce modèle donne une place importante à l'activité de l'apprenant dans le *learning game*. Enfin, nous concluons ce document par un bilan, des perspectives et pistes de travail à venir.

Chapitre 2

Une méthode de recherche ancrée sur le terrain : THEDRE

Le contenu de ce chapitre a fait l'objet de la communication suivante :

Séminaire invité Mathieu Vermeulen, Une approche *meta-design* des *learning games* pour développer leur usage : le cas de l'enseignement supérieur.
Séminaire d'équipe Ingénierie des EIAH, LIUM. 13 décembre 2017, Laval.

La posture méthodologique choisie repose sur les travaux de Mandran [Mandran, 2017] [Mandran and Dupuy-Chessa, 2017] : la méthode de recherche THEDRE pour *Traceable Human Experiment Design REsearch*. Nous commençons par décrire le terrain d'étude de notre travail, à savoir l'enseignement supérieur et plus précisément les enseignants du supérieur. Une seconde partie présentera le contexte qui a mené à choisir THEDRE pour guider ce travail de doctorat. Une dernière partie décrira brièvement THEDRE et l'application de cette méthode pour notre recherche.

L'objectif est de présenter la démarche adoptée tout au long de notre travail avec un focus sur les expérimentations. Ces expérimentations et les résultats associés à celles-ci doivent permettre d'obtenir les données quantitatives et qualitatives qui évalueront nos hypothèses. Le facteur humain introduit une difficulté quant à la nature et à l'interprétation des données. THEDRE nous a donné le cadre permettant de réaliser ce travail dans les conditions optimales.

2.1 Le terrain d'étude : les enseignants de l'enseignement supérieur

Pour choisir une méthode de conduite de la recherche adaptée, il nous faut au préalable spécifier le terrain d'étude. Nous avons choisi de baser nos travaux dans le contexte de l'enseignement supérieur. Le contexte de celui-ci en France est multiple. Les profils des enseignants du supérieur sont variés, fortement dépendants des institutions auxquelles ils sont rattachés.

Les enseignants de l'enseignement supérieur ont de multiples missions à accomplir tout au long de leur carrière professionnelle. En France le décret n°84-431 du 6 juin 1984¹ fixe le cadre de ces missions (l'article 3 en indique sept). On peut noter en particulier les points suivants (Décret n°84-431 du 6 juin 1984, Article 3) :

- Les enseignants-chercheurs participent à l'élaboration, par leur recherche, et assurent la transmission, par leur enseignement, des connaissances au titre de la formation initiale et continue incluant, le cas échéant, l'utilisation des technologies de l'information et de la communication.
- Ils ont également pour mission le développement, l'expertise et la coordination de la recherche fondamentale, appliquée, pédagogique ou technologique ainsi que la valorisation de ses résultats.

Ces deux aspects de leur métier ne sont qu'une facette d'une profession nécessitant des compétences variées et parfois très différentes. Quoiqu'il en soit, l'enseignant chercheur a des missions de recherche et d'enseignement, cette dernière faisant appel, si besoin, à l'usage des technologies de l'information et de la communication. Cette situation est applicable à la plupart des enseignants du supérieur des établissements publics ou privés, universités ou écoles d'ingénieur, en France ou dans le monde.

L'expérience montre que les enseignants du supérieur, dont la carrière est principalement évaluée sur leurs travaux de recherche, peuvent éprouver des difficultés à s'investir

1. Décret n°84-431 du 6 juin 1984 fixant les dispositions statutaires communes applicables aux enseignants-chercheurs et portant statut particulier du corps des professeurs des universités et du corps des maîtres de conférences. Version consolidée au 23 mars 2017 disponible sur <https://www.legifrance.gouv.fr>, visité le 11 janvier 2018

dans la production de ressources numériques pédagogiques. De fait comme nous l'avons déjà noté dans le premier chapitre, si, à l'instar des *learning games*, ces ressources nécessitent un temps de développement important ou des compétences très spécifiques, ces difficultés deviennent totalement rédibitoires [Marfisi-Schottman, 2012] [Marne, 2014].

Par ailleurs, nous effectuons nos expérimentations au sein de plusieurs écoles d'ingénieurs mais aussi au travers de *MOOC* proposés par ces écoles avec des partenaires universitaires :

- IMT Lille Douai, une école d'ingénieurs de IMT (Institut Mines Telecom) dit généralistes née de la fusion de Mines Douai et Telecom Lille, avec de cycle allant du niveau L1 au M2, avec une intégration possible en L3 ;
- ESTP, École spéciale des travaux publics, du bâtiment et de l'industrie, une école d'ingénieur de statut privé ;
- ENSCL, École Nationale Supérieure de Chimie de Lille, une école d'ingénieurs spécialisés ;

Les enseignants impliqués dans ces expérimentations sont essentiellement issus de ces établissements. Nous spécifions le cadre de chacune d'entre elles au moment opportun.

2.2 Choisir une méthode de recherche adaptée à notre contexte

La mission de ces enseignants est donc multiple : ils doivent mener de front des activités de recherche, d'enseignement, administratives, etc. Celles-ci sont aussi un atout pour la mise en place d'innovations (par exemple pédagogiques). Il nous a semblé important de baser nos travaux sur le terrain d'expérimentation en travaillant avec les enseignants.

Une première méthode a été envisagée et reposait sur le *Design Based Research* (DBR) [Wang and Hannafin, 2005]. Cette posture est basée sur la prise en compte des enseignants dans leur contexte de travail, sur l'interaction entre chercheurs et enseignants pour faire progresser les propositions de la recherche et les améliorer sur le terrain. Le DBR privilégie les approches itératives et l'utilisation des méthodes qualitatives et quantitatives. Ce contexte de travail collaboratif et la mixité des méthodes semblaient être une posture adaptée à notre recherche qui se situe dans le terrain au contact des enseignants et qui doit se construire de manière itérative. De nombreux travaux montre l'intérêt de cette approche pour la recherche en EIAH [Sanchez and Monod-Ansaldi, 2015]. Pour autant, le DBR n'offre pas de processus précis pour conduire la recherche et ne détaille pas la conduite des expérimentations permettant la construction et l'évaluation des connaissances scientifiques. Il ne précise pas les éléments de traçabilité de la recherche, tels les indicateurs qui assureront le contrôle du processus de recherche [Mandran, 2017].

Ce manque de traçabilité de la DBR nous a incité à travailler selon la méthode de recherche THEDRE qui propose l'utilisation d'outils et de concepts intéressants pour la recherche en EIAH, de fait adaptés à notre problématique.

2.2.1 Une Recherche Informatique Centrée Humain (RICH)

Le contexte de la recherche en EIAH rejoint celui de Recherche Informatique Centrée Humain (RICH) qui peut être considérée comme une science de l'artificiel [Simon, 2004]. La RICH se caractérise par l'introduction de l'utilisateur humain dans le processus de recherche et par un objectif double : produire de la connaissance scientifique et des outils pour accompagner l'activité humaine, deux aspects interdépendants [Mandran, 2017].

Dans notre cas, comme nous l'avons déjà évoqué, les utilisateurs sont les enseignants de l'enseignement supérieur. La connaissance scientifique visée doit répondre aux questions de recherche : elle vise à définir une approche *meta-design* des *learning games* par ces enseignants et se décline autour de modèles pour la conception de *learning games* mais aussi d'une démarche pour permettre l'analyse des données d'usage des étudiants en vue de réaliser une réingénierie de ceux-ci conçus avec le modèle. Enfin, dans notre cas, les outils sont d'une part les supports de passation du modèle vers les enseignants et d'autre part les *learning games* produits.

2.3 La méthode THEDRE

La méthode THEDRE se place dans la posture épistémologique du constructivisme pragmatique [Mandran, 2017] [Avenier, 2009]. Ainsi, THEDRE est basé sur cinq hypothèses en lien avec celui-ci :

Hypothèse n°1 Des représentations du réel par l'humain existent. Ces représentations sont liées au contexte dans lequel l'humain évolue.

Hypothèse n°2 L'humain va exprimer ses connaissances du monde qu'il connaît au travers de constructions symboliques appelées représentations. L'objectif est de posséder des moyens d'agir et des éléments proposés par l'humain pour construire et évaluer un instrument produit par la RICH.

Hypothèse n°3 L'instrument produit par la RICH est construit avec une finalité. De même, la connaissance scientifique construite dépend du contexte dans lequel elle prend place.

Hypothèse n°4 La construction de l'instrument est incrémental jusqu'à ce que l'instrument soit suffisamment abouti pour être publié.

Hypothèse n°5 Les résultats du terrain et l'évolution de la connaissance scientifique peuvent entraîner la modification de la question de recherche, de manière à ce que l'instrument soit en accord avec les contextes académique, technique et sociétal.

Nous décrivons dans ce chapitre les principaux éléments de THEDRE justifiant l'emploi de cette méthode pour notre travail de recherche.

2.3.1 Cycle PDCA et Démarche Centrée Utilisateur (DCU)

THEDRE intègre un processus d'amélioration *Plan-Do-Check-Act* ou cycle de Deming. Ce dernier est un outil pour guider l'amélioration d'un processus [Sokovic et al., 2010]. Le cycle PDCA se compose de 4 actions :

1. **Plan** - Préparer et planifier ce qui va être fait,
2. **Do** - Réaliser ce qui a été prévu,
3. **Check** - Faire le bilan de ce qui a été réalisé,
4. **Act** - Décider de la suite à donner : arrêter le processus ou itérer.

Mettre en place ce cycle nécessite de disposer d'indicateurs pour mesurer l'activité, le volume de production et ainsi vérifier que les objectifs définis dans l'action *Plan* ont été atteints. En particulier ces indicateurs permettront de déterminer l'intérêt de procéder à une nouvelle itération du cycle.

Un point important pour nous est que THEDRE utilise la Démarche Centrée Utilisateur (DCU) qui intègre l'utilisateur dès le départ de la conception. Les trois phases de la DCU sont l'analyse, la conception et l'évaluation. Mandran propose plutôt les termes **Explorer**, **Co-construire** et **Évaluer** que nous utilisons tout au long de nos travaux (le terme co-construction étant particulièrement adapté à notre problématique).

2.3.2 Descriptif de la méthode

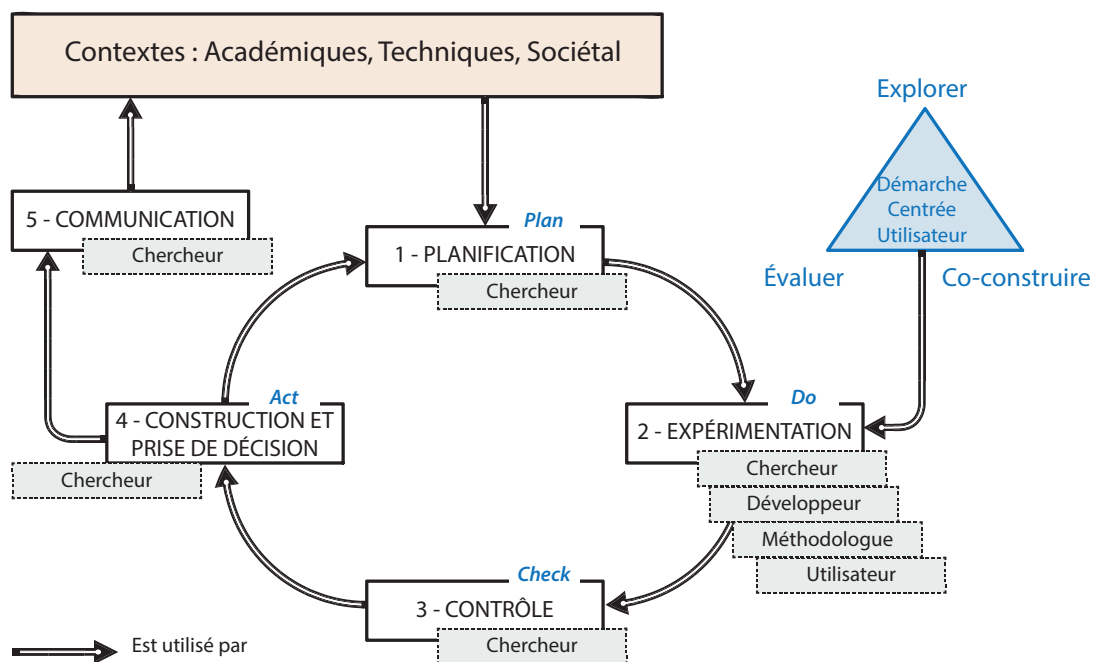


Figure 2.1 – Méthode THEDRE : 3 contextes, 5 sous-processus, 4 acteurs, Cycle PDCA et Démarche Centrée Utilisateurs (DCU) d'après [Mandran, 2017].

La méthode THEDRE se décompose en cinq sous-processus : "Planification", "Expérimentation", "Contrôle", "Construction et Décision" et "Communication" (figure 2.1). Pour chacun de ces sous-processus, la méthode précise les objectifs et les tâches à atteindre et à réaliser. Elle détaille les livrables à produire et les indicateurs de traçabilité et de qualité associés à ceux-ci. Chaque processus contient des blocs (figure 2.2) qui sont accompagnés d'indicateurs de trois types : des indicateurs d'activité (actions faites),

de volume d'activités et de production. Nous préciserons dans ce document certains indicateurs qui serviront de fil conducteurs pour ce travail de recherche.

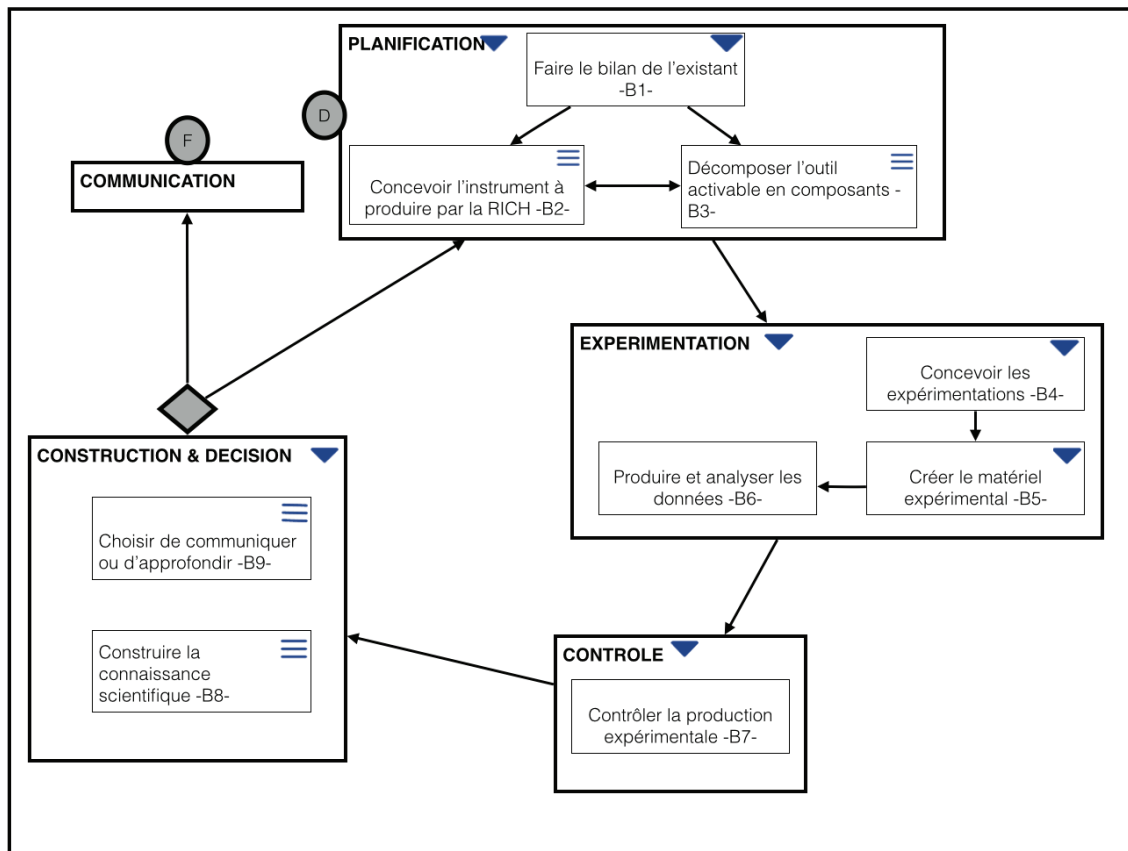


Figure 2.2 – Représentation des 5 sous-processus et des 9 blocs de la méthode THEDRE avec le langage de représentation proposé par Mandran [Mandran, 2017].

THEDRE fait intervenir quatre acteurs (tableau 2.1) : le chercheur, le développeur, le méthodologue et l'utilisateur. Dans le cas de ce travail de doctorat, la contribution du chercheur et du méthodologue est réalisée par la même personne, le doctorant. Le rôle du développeur, quant à lui, est assuré par un ingénieur techno-pédagogique. Enfin, les utilisateurs sont les enseignants du supérieur, enseignants-chercheurs ou professeurs.

THEDRE fait intervenir des outils activables comme un média entre l'utilisateur et la connaissance scientifique. Dans notre cas les outils activables sont :

1. les supports de passation du modèle de *learning games* (et dépendent de l'itération du modèle en question). Ces supports sont matérialisés par des documents, des cartes mentales (*Mind Map*) ou des tableurs (en général avec le logiciel Excel) ;
2. les *learning games* produits à l'aide du modèle. Ce sont des applications Web intégrées au sein d'une plate-forme de formation (ou *Learning Management System*, pour nos expérimentations, il s'agit de Moodle²) ;

Un des points forts de la méthode est d'effectuer un contrôle des données recueillies (sous-processus "Contrôle") lors des expérimentations. De fait, le choix de la méthode

2. [http ://moodle.org](http://moodle.org)

Rôle	Acteurs	Activités
Chercheur	Doctorant	Pose la problématique, fait évoluer la recherche et communiquer.
Méthodologue	Doctorant	Conçoit, met en œuvre et évalue les expérimentations conduites avec les utilisateurs. Analyse les données.
Développeur	Ingénieur technopédagogique	Développe les outils activables.
Utilisateur	Enseignants du supérieur	Participe aux expérimentations.

Tableau 2.1 – Acteurs selon THEDRE pour le travail de recherche mené.

de production des données est une étape importante de la démarche de recherche pour la RICH. Mandran nous propose un logigramme (annexe B) facilitant cette étape et donnant de la cohérence aux données recueillies. Nous avons largement utilisé celui-ci lors de nos expérimentations.

2.3.3 Orchestration des expérimentations

Le sous-processus “Planification” contient un bloc baptisé “Décomposer l’outil activable en composants”. Ce dernier a pour objectif de décrire l’outil activable et de le décomposer en composants activables afin de cibler de manière précise l’outil qui sera construit ou évalué pendant l’expérimentation. Il s’agit aussi de préciser le rôle que l’utilisateur va jouer et sa contribution lors des expérimentations. Nous faisons souvent référence à ce bloc au sein de ce document. En effet, l’une des tâches de celui-ci consiste à orchestrer les expérimentations, c’est-à-dire de planifier et séquencer les différentes phases des expérimentations en amont de celles-ci. De fait, nous donnerons pour chaque chapitre intégrant une expérimentation un diagramme d’orchestration (ou d’Ishikawa) qui correspond à l’un des indicateurs d’activités (actions faites). Ce diagramme donne aussi le rôle de l’utilisateur au sein de notre expérimentation (figure 2.3). Un des intérêts de définir l’orchestration des expérimentations avec le diagramme d’Ishikawa est de fixer une temporalité aux différentes phases de l’expérimentation sans pour autant fixer de date précise pour celles-ci. En effet, une des contraintes de la DCU est la mobilisation des utilisateurs sur des temps précis : passation, développement, co-construction, etc. De fait, le profil des enseignants chercheurs, souvent peu accessibles et au emploi du temps changeants, demande une certaine latitude quant au choix des créneaux de travail. En définissant une chronologie sans contraintes de dates, THEDRE apporte une souplesse bienvenue pour le travail collaboratif avec les enseignants.

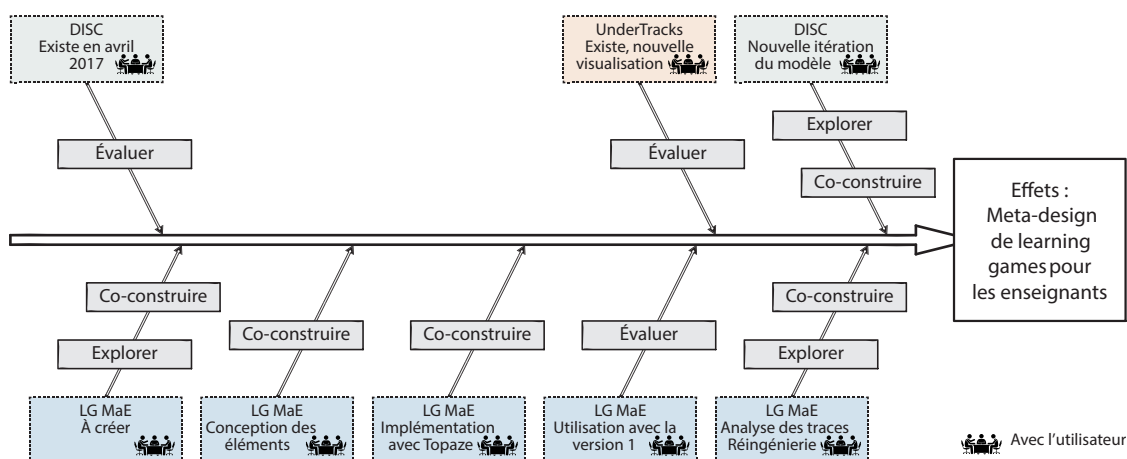


Figure 2.3 – Diagramme d’orchestration pour les outils activables DISC et “Missions à Emission”

2.3.4 Documents produits

Tout au long du travail de recherche mené, nous avons produit de nombreux documents basés sur les guides proposés par Mandran [Mandran, 2017]³ et qui peuvent être vus comme des indicateurs de production. Nous avons choisi certains indicateurs et documents associés comme guides pour ce manuscrit, avec l’objectif de montrer l’utilité de ceux-ci à la fois dans la mise en place des expérimentations, mais aussi pour prendre la décision de procéder ou non à de nouvelles itérations des propositions et livrables visant à répondre aux questions de recherche posées en amont dans le sous-processus “Planification”.

Ainsi, dans le sous-processus “Planification”, bloc “Bilan de l’existant”, nous avons choisi de préciser le nombre d’articles lus et résumés. Cet indicateur évolue à chaque cycle de recherche mais nous n’en donnons que la valeur finale (dans le chapitre trois correspondant à l’état de l’art).

Dans le sous-processus “Expérimentation”, nous précisons plusieurs indicateurs. Pour le bloc “Concevoir les expérimentations”, nous donnons le diagramme d’orchestration pour chaque expérimentation. Ce diagramme est repris en introduction des chapitres 4, 5 et 6 : il donne une vision globale des outils activables co-construits et évalués à chaque étape de ce travail. Pour ce même bloc, nous donnons en annexe un exemple d’un protocole expérimental conçu pour le *learning game* co-construit avec le modèle DISC et décrit au chapitre 5 (Annexe A). Pour le bloc “Produire et analyser des données”, nous précisons en fin des chapitres 4 et 5, le nombre d’expérimentations effectuées, le nombre de participants et la taille des données recueillies pour chacune d’entre elles.

Pour le sous-processus “Contrôle”, nous avons effectué l’évaluation des expérimentations à partir des fiches de synthèse réalisées lors des passations avec les utilisateurs et des indicateurs de qualités des données recueillies.

Quant au sous-processus “Construction et Décision”, à partir de la synthèse des résultats des expérimentations, nous prenons éventuellement la décision de relancer les

3. <http://thedre.imag.fr/>

expériences et un nouveau cycle de recherche. Ce point sera explicité en fin des chapitres 4, 5 et 6.

Enfin dans le sous-processus “Communication” (non détaillé dans THEDRE), nous avons choisi un indicateur relatif au nombre d’articles publiés et les communications réalisées suites aux travaux menés. Dans ce document, les articles publiés relatifs au chapitre en cours sont donnés en début de chapitre.

2.4 Synthèse

Le choix d’une méthode de recherche est un point crucial pour guider la démarche à réaliser. Elle donne au chercheur le cadre nécessaire garantissant la qualité du travail de recherche et des données recueillies lors des expérimentations. Dans le cas de la recherche en EIAH comme dans celui de la RICH, ce dernier point doit mobiliser toute l’attention du chercheur. Enfin, la mise en place d’indicateurs permet la mesure de la progression des travaux et guide le chercheur tout au long du processus.

La méthode THEDRE a été choisie pour structurer nos travaux de recherche. Le plan de ce document reprend le déroulement itératif proposé par la méthode et nous préciserons dans chaque chapitre un ou plusieurs indicateurs proposés par THEDRE pour évaluer soit l’avancement, soit la qualité du travail réalisé, soit enfin la pertinence d’une nouvelle itération du processus de recherche.

Chapitre 3

État de l'Art : méthodes, modèles et types de *learning games*

Les publications suivantes intègrent tout ou partie des travaux présentés dans ce chapitre :

[Vermeulen et al., 2016b] Vermeulen, M., Mandran, N., and Labat, J.-M. (2016b). DISCO, a Formal Model of Serious Games to Help Teachers at the Design Stage. In *Doctoral Consortium (DCCSEDU 2016)*, pages 3–8

[Vermeulen, 2016] Vermeulen, M. (2016). Un modèle formel de jeux sérieux de type étude de cas pour l'enseignement supérieur : le modèle DISCO. In *RJC'EIAH 2016, Actes des 6èmes Rencontres Jeunes Chercheurs en EIAH*, Montpellier, France

[Vermeulen et al., 2017a] Vermeulen, M., Guigon, G., Mandran, N., and Labat, J.-M. (2017a). L'enseignant au cœur de la conception de learning games : le modèle DISC. In *EIAH 2017 - 8ème Conférence Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*, Strasbourg, France

[Vermeulen et al., 2017b] Vermeulen, M., Guigon, G., Mandran, N., and Labat, J.-M. (2017b). Teachers at the heart of the learning games design: the DISC model. In *IEEE ICALT 2017*, Timisoara, Romania

De nombreux auteurs, tels Mariais [Mariais, 2012], Marfisi [Marfisi-Schottman, 2012] ou Marne [Marne, 2014], ont pointé la difficulté pour les enseignants de concevoir des *learning games*. Ils se représentent souvent ces derniers comme des ressources complexes à concevoir et à produire. D'autre part, Egenfeldt et Nielsen [Egenfeldt-Nielsen, 2004] ont montré la complexité pour les enseignants de mettre en place ces EIAH dans leurs enseignements. Ils pointent notamment la difficulté pour certains d'entre eux à s'approprier le *learning game*, le jeu n'étant pas un objet qu'ils manipulent au quotidien. Marne [Marne, 2014] note l'indispensable phase de réingénierie des *learning games* par les enseignants, mais dans le même temps le manque d'outils ou de méthodes pour y parvenir. Nous avons déjà noté que de manière générale, leur création est vue comme un exercice délicat, y compris par les concepteurs aguerris.

Par ailleurs, les méthodes et outils existants traitent souvent le cas des *learning games* en général, intégrant parfois dans le processus de conception la détermination du type de jeu à concevoir (e.g. [Yusoff, 2010]). Certains auteurs ont, quant à eux, opté pour un certain type de jeu, tel les jeux de rôles (ou *Role Playing Games* telle Mariais [Mariais, 2012]) ou les jeux à étapes (tel Marne [Marne, 2014]).

Enfin, comme évoqué précédemment, le *meta-design* [Fischer et al., 2004] [Marne, 2014] propose une approche intéressante impactant l'ensemble du processus de conception et d'usage des *learning games*. La proposition d'un modèle de *learning game* est un préalable à l'intégration des enseignants dans la conception (en tant qu'utilisateurs finaux) : il offre le cadre nécessaire pour une conception optimale.

Ce chapitre présente, entre autres, des méthodes, modèles et outils pour concevoir des EIAH ou des *learning games*. Nous nous trouvons ici dans le premier sous-processus de la méthode THEDRE décrite au chapitre précédent "Planification de la Recherche", et plus précisément dans la veille sur l'état de l'art et les contextes académiques et technologiques. Cette veille s'est largement étoffée au fur et à mesure des cycles de recherche réalisés durant ces années de doctorat.

Nous commençons ce chapitre par un bref tour d'horizon des approches *meta-design* pour les EIAH et pour les *serious games*. Puis, au travers d'une étude suivie d'un bilan, nous identifions les caractéristiques intéressantes et les manques des travaux étudiés pour nous permettre d'élaborer un modèle de *learning game* suffisamment simple, adapté aux enseignants du supérieur. En s'appuyant sur les travaux étudiés et sans entrer dans l'élaboration d'un recensement exhaustif des différents types de jeux adaptés au contexte de l'enseignement supérieur, nous donnons des exemples d'activités ou situations pédagogiques susceptibles, selon nous, de favoriser la conception et l'adoption des *learning games* par les enseignants du supérieur. Dans chacun de ces états de l'art, nous extrayons des caractéristiques pour élaborer d'une part un modèle de *learning game* adéquat pour le *meta-design* des *learning games* pour les enseignants du supérieur, et d'autre part, un type de *learning game* adapté à notre contexte.

3.1 *Meta-design*

L'implication des enseignants à toutes les étapes de la vie d'un *learning game* semble un point important. Des travaux proposent un accompagnement de ces derniers lors des phases de conception et d'usage des ces EIAH [ALVAREZ et al., 2012] [Alvarez et al., 2017], d'autres une implication forte au travers du concept de *meta-design* (Marne,

2014). Comme évoqué dans le premier chapitre, Fischer [Fischer et al., 2004] définit ce concept comme suit :

Le *Meta-design* définit les objectifs, les techniques et les processus pour créer de nouveaux médias et environnements permettant aux “propriétaires des problèmes” (c’est-à-dire les utilisateurs finaux) d’agir en tant que concepteurs. Un objectif fondamental du *Meta-design* est de créer des environnements socio-techniques qui permettent aux utilisateurs de s’engager activement dans le développement en continu des systèmes plutôt que de se limiter à l’utilisation des systèmes existants.

Ce paradigme reprend les approches du *user-centered design* (avec l’idée de faire pour, par ou avec l’utilisateur) [Norman and Draper, 1986] et du *participatory design* (défini dans le premier chapitre, propose une forte implication des utilisateurs dans le processus de conception en tant que co-concepteurs) en étendant l’implication des utilisateurs finaux dans la phase d’usage. Fischer associe celui-ci à la notion d’*underdesign*, qui propose l’appui d’éléments prédéfinis comme des objets préconçus dont les utilisateurs finaux s’approprieraient la structure pour finaliser la conception [Fischer, 2000].

Le *meta-design* ne semble pas encore très présent dans la conception des EIAH. Peu d’exemples ont émergé des travaux de recherche, ces derniers s’attaquant principalement à l’une ou à l’autre des phases définies (conception et usage).

Néanmoins, Marne propose une approche *meta-design* des *serious games* basée sur un ensemble de concepts : une méthode de conception et un modèle que nous décrirons plus loin, mais aussi sur la notion d’objets frontières (ou *boundary objects*, favorisant l’échange, le partage et la communication entre des acteurs détenteurs d’expertises différentes) [Bowker and Star, 2000] et de patrons de conception ou design pattern [Marne et al., 2012a]. Marne propose ainsi des outils utiles dans les phases de conception et d’usage, en insistant sur la réingénierie des *serious games*, plus précisément sur la scénarisation de ceux-ci. Le modèle MoPPLiq définit un cadre permettant d’une part la conception mais aussi l’analyse en vue d’opérer à la réingénierie des scénarios des *serious games* par les enseignants. Nous reviendrons sur cet outil dans ce chapitre.

Nous avons déjà évoqué l’utilité des méthodes, modèles et outils de conceptions pour le *meta-design*. Bien que le concept de *meta-design* soit peu présent dans la recherche en EIAH, ces derniers ne manquent pas et beaucoup interviennent dans l’une ou l’autre des phases de conceptions ou d’usage des *learning games*. Avant de récapituler l’étude de l’état de l’art que nous avons réalisé, il faut nous poser la question du type de *learning game* à concevoir. En effet, les modèles génériques posent une difficulté supplémentaire aux concepteurs : quel type de jeu est adapté à la thématique ou aux objectifs de l’enseignant auteur ? En particulier pour notre problématique, si le concepteur est un enseignant, il s’agit de définir un type de *learning game* connu (ou mieux, compréhensible) par ce dernier.

3.2 Des paradigmes pour définir un type de *learning game* adéquat

Il ne s’agit pas ici de donner une classification des jeux, sujet difficile et parfois polémique (comme le suggère Mariais [Mariais, 2012]). Pour autant, un éclairage nous

semble nécessaire pour définir un type de jeu adéquat dans le contexte de l'enseignement supérieur. Aussi, nous avons choisi de présenter des activités et situations pédagogiques qui, sans forcément être des jeux ou *learning games*, présentent un intérêt pour notre problématique. Celles-ci sont souvent connues des enseignants, voire utilisées dans leurs enseignements. Nous aborderons ainsi la méthode des cas (telle que définie à Harvard), les Tests à Concordances de Script conçus pour évaluer les compétences des futurs médecins et, enfin, les jeux de rôles et jeux de rôles pédagogiques largement utilisés pour la formation professionnelle.

3.2.1 La Méthode des Cas

Des travaux ont permis de montrer l'intérêt de la méthode des cas pour la création de jeux sérieux par les enseignants de l'enseignement supérieur, en particulier suite au projet collaboratif Generic-SG [Marfisi-Schottman et al., 2013] [El-Kechai and Labat, 2012]. En effet, les études de cas constituent un dispositif basé sur une pédagogie constructiviste et qui peut s'appliquer à de nombreux domaines (droit, gestion, médecine, biologie, physique, mathématique, développement durable, etc.). La méthode des cas consiste à donner aux apprenants un problème basé sur une situation réelle (baptisé le cas) et de les mettre dans la situation du preneur de décision [Marfisi-Schottman et al., 2013]. Elles peuvent être la base de scénarios pédagogiques de *learning games* et ont parfois fait l'objet de développements spécifiques (tel le modèle Topaze pour Scenari).

La méthode des cas mise en place à Harvard depuis de nombreuses années [Dooley and Skinner, 1977] fait référence, et les concepts de cette méthode sont connus des enseignants qui, pour la plupart, les manipulent au quotidien dans leurs enseignements.

3.2.2 Les Tests à Concordance de Script

En médecine, l'apprentissage des techniques de diagnostic impose des pratiques pédagogiques adaptées. En effet, les disciplines associées sont rarement déterministes et le futur médecin doit faire appel à son expérience et à son jugement personnel. L'une de ces pratiques, les Tests à Concordance de Script (TCS) [Charlin et al., 2000], se fait via l'usage de situations réelles, reprenant en partie le paradigme de la méthode des cas. Les TCS se présentent sous la forme d'énoncés associés à des hypothèses correspondant à des examens à réaliser, les étudiants ayant pour objectif de proposer un diagnostic. Pour donner ce dernier, ils sont amenés à choisir des hypothèses les unes à la suite des autres. A priori, aucune hypothèse ou suite d'hypothèses n'est à priori meilleure qu'une autre. Les TCS offrent aux étudiants la possibilité de cheminer dans un parcours non déterministe, constitué d'étapes correspondant chacune à une série d'hypothèses.

À la suite de la conception des cas et hypothèses avec un premier auteur, un panel représentatif de médecins donne une suite d'hypothèses qui serait selon lui la bonne démarche à suivre, le tout de façon non coordonnée. Chaque expert donne ainsi un avis quant à la situation en fonction de son expérience, et aucune hypothèse ou suite d'hypothèses, n'est à priori meilleure qu'une autre.

Cette approche semble intéressante : elle permet aux étudiants de choisir des hypothèses selon leur compétences et/ou leur libre-arbitre. Ce parcours non-linéaire leur donne ainsi une forme de contrôle et donc un élément de motivation face à l'exercice à

réaliser [Viau, 2001].

3.2.3 Les jeux de rôles, livres dont vous êtes le héros et jeux de rôles pédagogiques

Le jeu de rôle (JdR) définit un ensemble de pratiques variées, de l'enfance à l'âge adulte [Mariais, 2012]. Daniau recense pas moins de six activités qualifiées de "jeu de rôle" [Daniau, 2005]. De manière générale, et même si la notion reste souvent ambiguë, Grellier [Grellier, 2008] définit le jeu de rôle comme suit :

le jeu de rôle apparaît ainsi comme la simulation d'une situation, à laquelle les participants prennent part en endossant les rôles de personnages spécifiques interagissant les uns avec les autres. C'est une activité collective dans laquelle les échanges et la communication entre les protagonistes sont centraux.

Cette définition insiste sur l'interaction et l'échange entre participants. Néanmoins, le jeu de rôle peut se pratiquer seul à l'instar des jeux de rôles sous forme de jeux vidéos ou encore des "livres dont vous êtes le héros" dont Daniau donne les caractéristiques suivantes :

[Ils] placent le lecteur en situation d'interférer sur le déroulement du scénario en lui proposant de se mettre à la place du héros et de prendre des décisions quant aux pistes qu'il lui faut explorer pour arriver à ses fins.

On trouve ici un aspect narratif au travers du scénario dans lequel évolue le joueur. Quoiqu'il en soit, plusieurs aspects sont intéressants dans notre contexte : la simulation d'une situation, la notion de rôle et l'aspect narratif au travers d'un scénario dans lequel le joueur prend place.

Par ailleurs, Daniau [Daniau, 2005] propose une définition du jeu de rôle pédagogique :

Dans ce cadre, les participants sont amenés à explorer de nouvelles situations, à tester leurs qualités d'improvisation, à s'ouvrir ludiquement à l'usage d'une langue étrangère, ou encore à gérer les relations interpersonnelles. Dans ce dernier cas, il s'agit de faire découvrir à chacun ses attitudes, son mode d'interaction avec autrui notamment dans l'activité professionnelle.

Cette proposition suggère que les rôles endossés par les joueurs dans les jeux de rôles pédagogiques sont en lien avec l'activité professionnelle. De plus, on voit apparaître l'idée de l'exploration de nouvelles situations que le participant pourrait avoir à vivre dans son avenir professionnel. Ces aspects supposent la mobilisation de compétences dans de telles situations.

3.2.4 Bilan

De ces trois activités pédagogiques, nous avons extrait un certain nombre de propriétés et de limites intéressantes pour la définition d'un type de *learning game* pertinent (tableau 3.1). Nous pouvons retenir

1. le besoin d'un paradigme connu des enseignants ;
2. l'importance de baser le type de *learning game* sur des cas réels ;

3. le besoin d'un scénario non linéaire basé sur des choix faits par l'apprenant ;
4. une approche narrative dans laquelle ce dernier jouera un rôle prépondérant.

	Propriétés	Limites
Méthodes des cas [Dooley and Skinner, 1977]	Propose une démarche connue des enseignants et est basée sur des cas réels	Reste lourde à mettre en place
TCS [Charlin et al., 2000]	Propose un parcours non-linéaire basé sur une succession d'hypothèses	Reste très austère et nécessite plusieurs auteurs
JdR [Daniau, 2005]	Propose une approche narrative et la description d'une situation où chaque joueur s'intègre au travers d'un rôle à jouer	Demeure difficile à réaliser de par le nombre important de documents à construire et de situation à prévoir

Tableau 3.1 – Propriétés et limites pour les trois activités pédagogiques choisies.

3.3 Méthodes de Conception pour les *Learning Games*

La conception d'EIAH fait l'objet de recherches depuis de nombreuses années, menant à la définition d'un certain nombre de méthodes de conception. Ces méthodes proposent des aspects intéressants pour le cas des *learning games* (vu comme un sous-ensemble des EIAH). Les méthodes de conception de ces derniers se développent depuis une dizaine d'années, proposant différents paradigmes et approches dont nous avons tenu compte dans nos travaux.

3.3.1 MISA

MISA [Paquette et al., 1997] est une méthode emblématique de la conception des EIAH et est souvent utilisée comme base de travaux sur la conception des *serious games*. Elle découpe la conception et la réalisation d'un EIAH en 6 grandes étapes ordonnées de façon séquentielle et permet de spécifier et de répartir celles-ci en fonction des expertises des différents acteurs. Chaque étape spécifie les documents type à produire, certains pouvant directement être implémentés dans des plates-formes d'apprentissage. La spécification des documents à fournir sécurise la conception et guide les différents acteurs du projet. MISA précise par ailleurs les trois modèles à mettre en place pour concevoir un EIAH :

1. un modèle des connaissances, objets de l'apprentissage ;
2. un modèle pédagogique spécifiant les processus ou scénarios d'apprentissage ;

3. un modèle médiatique définissant les matériels pédagogiques et les infrastructures technologiques qui supportent l'apprentissage.

Cette méthode permet de spécifier et de répartir la conception en fonction des différents domaines d'expertise des acteurs du projet, domaines qui peuvent être très éloignés les uns des autres comme dans le cas des *learning games*. Pourtant elle reste complexe à mettre en place (en particulier pour les enseignants) et ne favorise pas la collaboration des différents acteurs (on parlera plutôt de coopération). En particulier, selon nous, son aspect procédural, le nombre important d'étapes et de documents à produire peut rebuter les enseignants.

3.3.2 DICE

Djaouti [Djaouti, 2011] propose quant à lui un modèle de conception générique de *serious games* extrait de l'analyse des méthodes de conception de jeux vidéos, le modèle DICE. Après une étape initiale de définition, on effectue un cycle de développement par itération comportant trois étapes : Imaginer, Créer et Évaluer (figure 3.1). Cette approche, inspirée par les travaux menés autour de la création de jeux vidéo purement ludiques, amène une dimension agile et itérative.

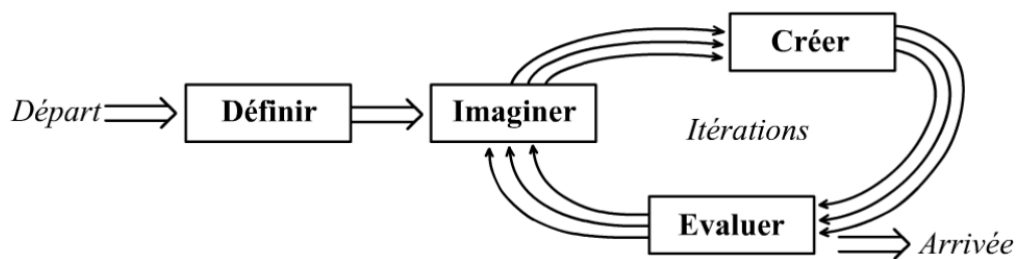


Figure 3.1 – Le modèle générique DICE du processus de conception de *Serious Game*.

DICE reste néanmoins très générique et ne rentre pas dans les détails de la conception. Elle vise la création de *serious games* quels qu'ils soient et ne s'intéresse donc pas spécifiquement au cas des *learning games*. Elle ne permet pas intrinsèquement d'accompagner les auteurs dans la conception.

3.3.3 Conceptual Framework for Serious Game

Proposé par Yusoff [Yusoff, 2010], *Conceptual Framework for Serious Game* (SGCF) est un cadre de conception de *learning games* qui introduit l'idée d'associer préalablement des attributs ludiques (*Games Attributes*) aux objectifs pédagogiques (*Intended Learning Outcomes*), eux-mêmes tirés des compétences visées (figure 3.2). Cette association permet la définition d'activités d'apprentissage qui intégreront des temps et des moyens pour permettre à l'apprenant-joueur de prendre du recul par rapport à ce qu'il a accompli et ce qu'il lui reste à réaliser (*Reflexion*). Le type de *learning game* est alors déterminé par l'ensemble des activités d'apprentissage (et des phases de recul proposées à l'apprenant-joueur), des mécanismes de jeu et du niveau de réalisation de l'apprenant-joueur.

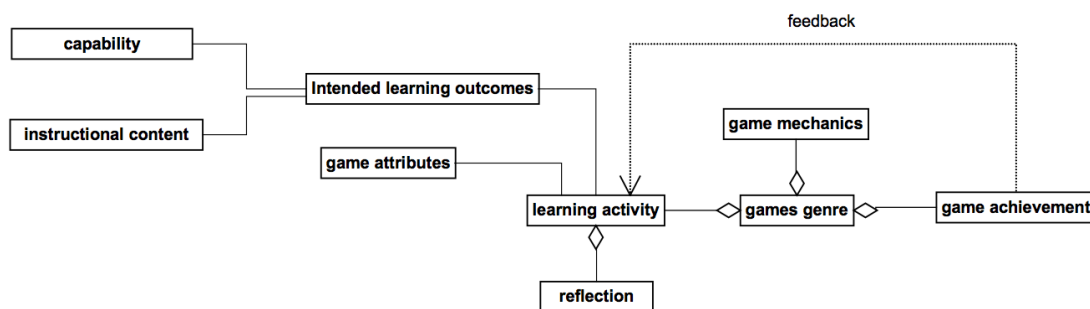


Figure 3.2 – Diagramme de classe du *Conceptual Framework for Serious Game* selon [Yusoff, 2010].

Ce cadre situe les différents types d'acteurs impliqués dans la conception du *learning game* mais ne détaille pas leur rôle au sein du processus. Cette méthode est par ailleurs relativement contraignante et offre peu de visibilité pour les enseignants par rapport au livrable.

3.3.4 Les 6 facettes du jeu sérieux

Marne [Marne, 2014] propose une méthode de conception non linéaire, les six facettes de la conception de jeu sérieux (figure 3.3). L'un des objectifs de cette méthode est de permettre une bonne articulation entre motivation et apprentissage dans les *learning games* en facilitant la collaboration entre les experts de différents domaines. Les facettes représentent des éléments de conception faisant intervenir deux grandes catégories d'expertises, pédagogique et ludique, dont il faut tenir compte lors de l'élaboration d'un *learning game* [Marne et al., 2012b]. Nous pouvons noter que ce modèle s'intéresse en particulier aux *learning games* à métaphore intrinsèque, c'est-à-dire ceux dans lesquels l'apprentissage est au cœur de la jouabilité (par opposition aux *learning games* à métaphore extrinsèque, dont l'aspect ludique vient en complément de l'apprentissage) [Fabricatore, 2000].

Cette méthode présente l'intérêt, outre celui d'aider à la conception, de permettre l'analyse de *learning games* existants. Marne [Marne, 2014] donne de nombreux exemples dans lesquels les six facettes ont été utilisées dans la phase de conception. Néanmoins, la méthode ne considère que deux types de profils : celui de *game designer* et celui d'expert pédagogique. Il s'appuie sur un présupposé : les enseignants sont à la fois les experts de la thématique et des experts pédagogiques. Or la formation aux concepts pédagogiques des enseignants dans le supérieur en France est loin d'être satisfaisante (ce constat mène à la mise en place d'action de formation dans diverses écoles d'ingénieur [Pires Da Rocha et al., 2016]).

3.3.5 Bilan

Ces méthodes proposent différents paradigmes de conception plus ou moins aboutis. Chacune apportent un éclairage intéressant sur la conception des *learning games*, soit

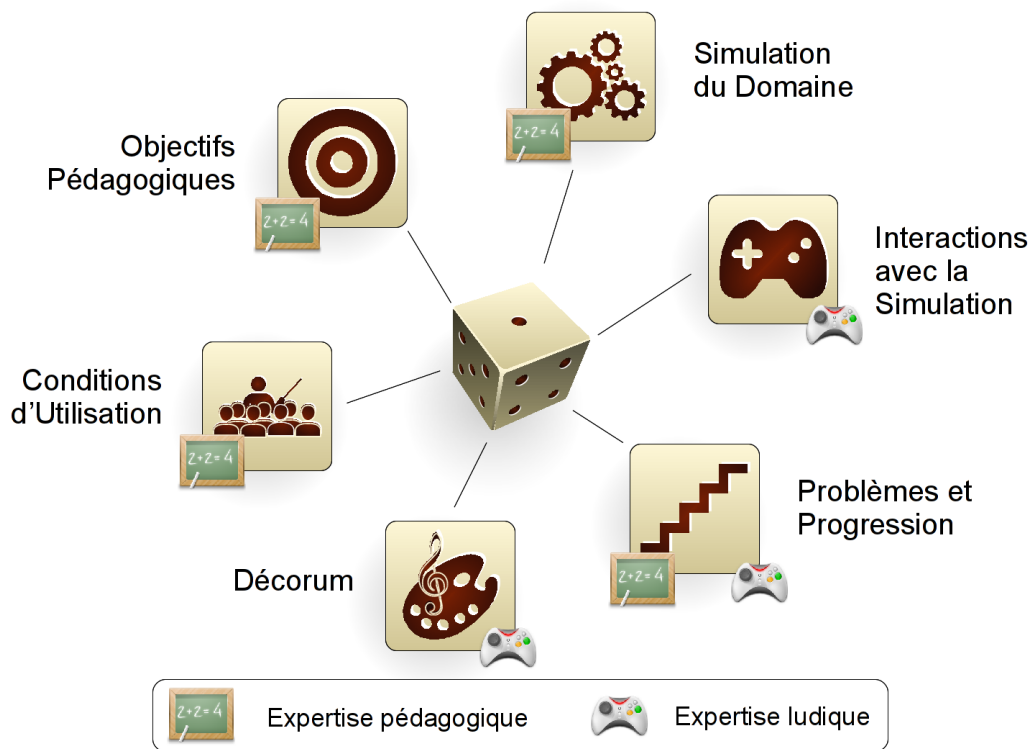


Figure 3.3 – Les 6 facettes du jeu sérieux d’après [Marne et al., 2012b].

comme une catégorie d’EIAH spécifique, soit comme un sous-ensemble des *serious games* (tableau 3.2). Nous avons identifié des propriétés intéressantes telles que

1. la spécification des documents à produire ;
2. un cycle de conception itératif ;
3. la distinction des étapes de conception dans lesquelles les rôles de chacun sont définis ;
4. un cadre de conception souple.

3.4 Modèles et Outils

La recherche en EIAH a donné lieu à la création d’outils et de modèles pour faciliter la conception de *learning games*, et ce pour différents types de concepteurs : enseignants, *game designers*, formateurs, etc. Ces outils sont souvent associés à un processus de conception. Leur étude a permis de repérer des caractéristiques intéressantes pour la définition d’un modèle de *learning games* pertinent par rapport à notre terrain d’étude.

3.4.1 WEEV

WEEV (*Writing Environment for Educational Video games*) [Marchiori et al., 2012] est un modèle de *serious games* proposant une approche narrative pour la conception de *serious games* de type *Point and Click*. Le modèle s’articule autour de composants

	Propriétés	Inconvénients
MISA [Paquette et al., 1997]	Affecte les tâches, spécifie les documents à produire et propose un découpage séquentiel	ne favorise pas la collaboration des acteurs et reste complexe à mettre en place
DICE [Djaouti, 2011]	Intègre une dimension itérative au travers d'un cycle de conception	Reste très générale et peu détaillée
SGCF [Yusoff, 2010]	Distingue les étapes de conception et situe les acteurs	Ne précise pas les rôles au sein du processus
6 facettes [Marne et al., 2012b]	Propose un cadre de conception souple et identifie 2 catégories d'expertise	Ne précise pas les objets à mettre en place et reste très générale

Tableau 3.2 – Propriétés et Inconvénients pour différentes méthodes de conception de *learning games*.

caractérisés par un lieu géographique et ayant un but à atteindre, et de trois type d'éléments : *World*, *Actors*, *Story* (figure 3.4). Le scénario des *learning games* conçus est basé sur les interactions entre l'apprenant et le jeu-game (au sens de [Sanchez et al., 2015]). WEEV [Moreno-Ger et al., 2008] a été implémenté avec l'outil <e-Adventure> qui implique largement l'enseignant dans la conception des *learning games*.

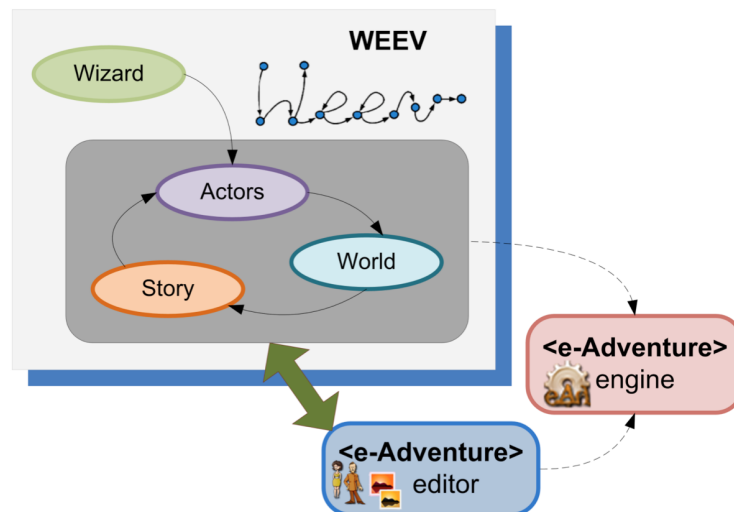


Figure 3.4 – Le modèle de développement WEEV avec le contexte d'implémentation <e-Adventure> d'après [Moreno-Ger et al., 2008].

Le modèle WEEV propose des outils pas-à-pas (*Wizard*) pour démarrer la conception avec un enseignant. Cette démarche, un modèle associé à un outil auteur ayant donné lieu à une production réelle, est assez rare. Pour autant, les auteurs pointent le fait que ce modèle reste peu adéquat pour la conception de *learning games* de durée importante. En effet la complexité de la représentation visuelle des scénarios est importante dès l'ajout d'un deuxième écran (ou étape). De plus le modèle a été conçu pour la conception par

un enseignant seul, sans intégrer de réelle collaboration entre différents acteurs.

3.4.2 MoPPLiq

MoPPLiq [Marne et al., 2013] est un modèle générique capable de décrire les aspects ludiques et pédagogiques du scénario d'un jeu sérieux à étapes et de rendre ce scénario compréhensible et manipulable par les enseignants. MoPPLiq propose une description du scénario via les pré-requis (état d'entrée de l'étape) et compétences travaillées (état de sortie) pour chaque étape de celui-ci (figure 3.5). Le modèle offre un cadre permettant la réingénierie des jeux sérieux au travers d'un outil baptisé APPLiq permettant la manipulation du scénario pour l'adapter au contexte pédagogique des enseignants. Il faut noter que MoPPLiq et l'outil APPLiq ont été conçus pour intégrer une démarche proche de celle du *meta-design* : ils offrent aux concepteurs-utilisateurs un modèle et un outil fonctionnel de l'étape de conception à celle de l'usage.

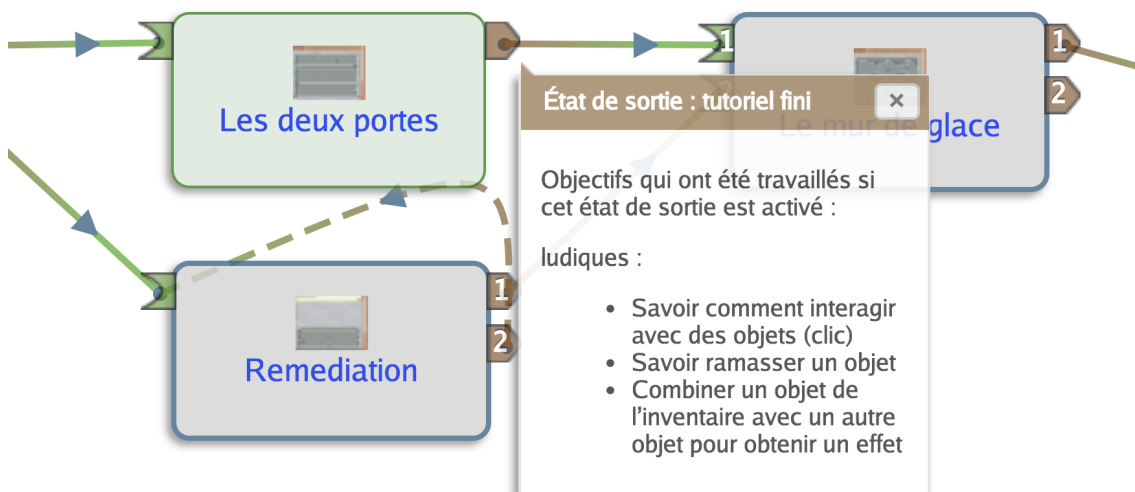


Figure 3.5 – Extrait d'un scénario de jeu sérieux (Les Cristaux d'Éhère, http://seriousgames.lip6.fr/Cristaux_Ehere/) modélisé avec APPLiq montrant un état de sortie d'une étape.

MoPPLiq ne couvre qu'un aspect de la conception (le scénario) mais offre un outil intéressant pour la conception de scénario et pour la réingénierie des *learning games*. À l'usage, les enseignants peinent à utiliser APPLiq dans le cas de longs scénarios (supérieur à une vingtaine d'étapes).

3.4.3 ATMSG

Le modèle *Activity Theory-based Model for Serious Games*, noté ATMSG [Carvalho et al., 2015], propose un modèle basé sur la théorie de l'activité (*Activity Theory*, [Jonassen and Rohrer-Murphy, 1999] qui offre :

[...] a structured framework that considers the game not as an isolated tool, but as part of a complex system that also includes human actors (player or learner, instructor and game designer) and the motives driving their interactions with the game. [Carvalho et al., 2015]

Le modèle considère à la fois l'objet jeu et les acteurs de la conception et de l'usage (apprenants et enseignants).

ATMSG propose une décomposition des *serious games* en trois types d'activités (figure 3.6) : *gaming activity* relatif à la notion de jeu, *learning activity* relatif à l'apprentissage du point de vue de l'apprenant et *instructional activity* relatif à l'apprentissage du point de vue de l'enseignant. Ces activités sont elles-même décomposées en actions, buts et outils. Le scénario est décrit sous la forme de diagramme UML.

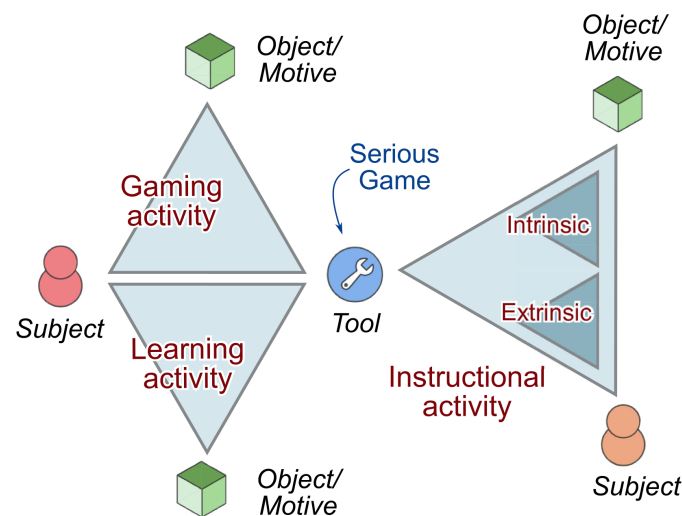


Figure 3.6 – Le modèle ATMSG et trois types d'activités composant le *learning game* d'après [Carvalho et al., 2015].

ATMSG est un modèle complet et détaillé : toutes les étapes de la conception sont traitées, de l'environnement du jeu à l'interaction fine. La proposition des différents types d'activités est intéressante : elle donne aux auteurs un catalogue de buts, d'outils et d'actions pour chaque type qu'ils pourront intégrer au *learning game*. Le modèle intègre le contexte et l'environnement d'utilisation du serious game via la distinction entre différentes *instructional activities*. Sa mise en place avec les enseignants semble difficile car il nécessite la compréhension de nombreuses notions complexes, mais aussi un grand nombre de règles à suivre. De plus, l'aspect ludique ne semble présent qu'au niveau des activités dites ludiques.

3.4.4 ScenLRPG

ScenLRPG [Mariais, 2012] est un outil auteur de scénarisation de jeux de rôle pédagogiques destinés à la formation. Le formalisme proposé se rapproche de celui utilisé par l'éditeur LAMS [Dalziel, 2008] c'est-à-dire une démarche centrée sur les activités des apprenants, une prise en compte de la dimension collaborative et un langage visuel (figure 3.7). Il propose aussi de capitaliser sur les scénarios déjà produits. Un outil prototype

sous forme de cartes a été conçu et a permis de mener de nombreuses expérimentations dans différents cadres.

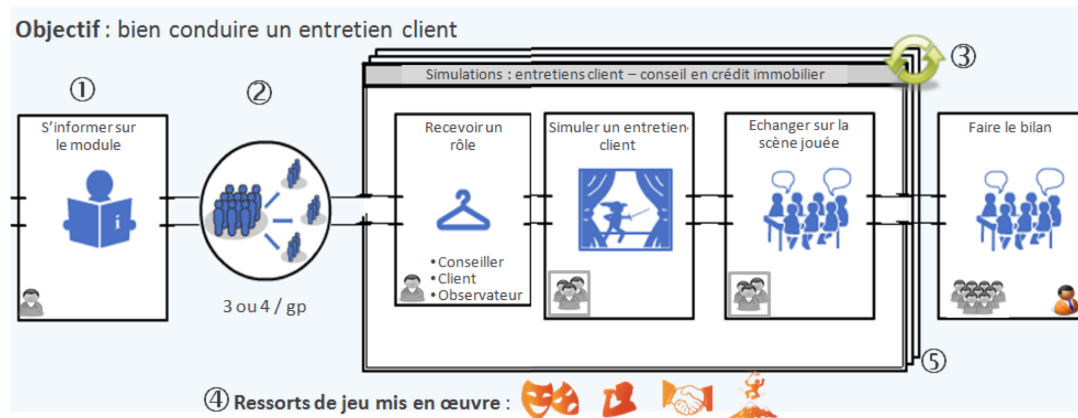


Figure 3.7 – Plan global d'un scénario : un exemple fondé sur des simulations d'entretiens clients (conseil en crédit immobilier) d'après Mariais [Mariais et al., 2011].

ScenLRPG propose un découpage des scénarios en activités pédagogiques en tenant compte des intentions des concepteurs, en particulier en ce qui concerne les éléments ludiques à ajouter. Il possède de nombreux atouts quant au public des enseignants, même si le public initialement ciblé est celui des formateurs en entreprise. Pour autant, ScenLRPG reste centré sur le scénario des jeux de rôle pédagogiques et semble plus adapté à la conception de jeux peu complexes.

3.4.5 Legadee

Marfisi [Marfisi-Schottman, 2012] propose une méthode et un outil auteur destiné à la conception de *learning games*, Legadee. La méthode à laquelle est associée Legadee se découpe en sept étapes basées sur la méthode MISA (figure 3.8) et intègrent les différents profils autour d'une approche coopérative. La définition des objectifs pédagogiques se fait en amont (comme préconisé par MISA) et détermine le choix du type de *learning game* à concevoir. Elle précise les rôles des concepteurs et le moment où chacun d'entre eux intervient dans la construction du *learning game*. Enfin le scénario s'articule autour du découpage du scénario en composants (des mini-jeux).

L'outil, quant à lui, assiste les différents acteurs de la conception et permet l'évaluation du scénario. Il propose de renseigner nombres d'éléments ludiques tels que des personnages, des objets ou des lieux.

Cette méthode et l'outil Legadee ont été testés par l'auteur auprès d'un public de concepteurs (ingénieurs TICE, Game designers, etc.) familiers des outils informatiques. Il reste d'après nous difficile à utiliser avec les enseignants, entre autres à cause du nécessaire apprentissage de l'interface de Legadee mais aussi à cause de la procédure très linéaire de la méthode. De plus, la méthode est orientée sur le travail coopératif plutôt que collaboratif.

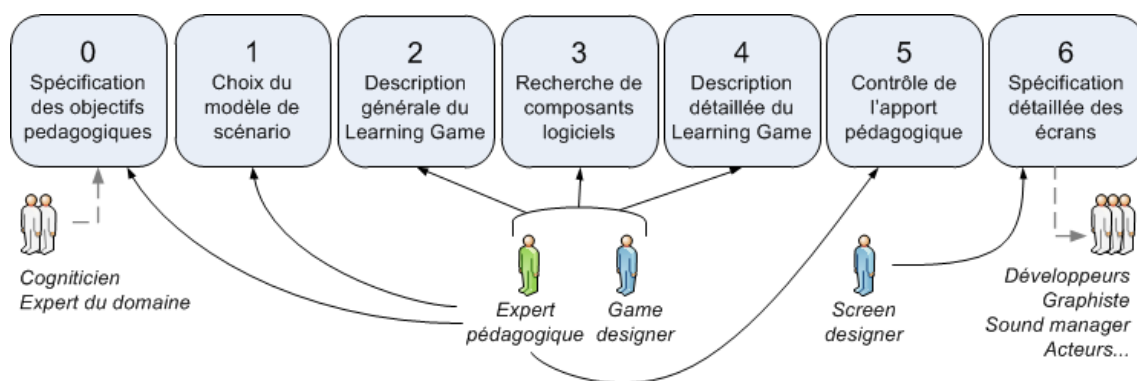


Figure 3.8 – Méthodologie de conception de *learning games* avec l'outil Legadee.

3.4.6 Topaze pour la suite logicielle Scenari

Conçu dans le cadre d'un projet pour développer les pédagogies actives au sein de l'enseignement supérieur, le modèle Topaze¹(figure 3.10) pour la chaîne éditoriale Scenari [Quelennec et al., 2010] [Gebers and Crozat, 2010] vise à permettre l'implémentation et la médiatisation d'étude de cas non linéaires (sur le principe de la méthode des cas [Dooley and Skinner, 1977]). Scenari Chain est un outil de création et de publication documentaire basé sur un ensemble de balises sémantiques structuré autour de trois étapes : modélisation, production, publication (figure 3.9).

La définition du modèle Topaze (réalisée par une équipe pilotée par Mines Paristech) a été faite sur la base d'études de cas médiatisées existantes intégrant largement des ressorts ludiques. Cet outil a permis la conception de *learning games* dans divers contextes, en particulier en écoles d'ingénieurs.

Topaze offre un outil de médiatisation intéressant pour l'intégration de scénarios complexe (non-linéaire par exemple) mais il n'est accompagné d'aucun support à la conception du scénario des EIAH et des *learning games*. De plus, il nécessite de bonnes connaissances des principes de fonctionnement de la chaîne éditoriale Scenari, principes souvent déstabilisant pour les enseignants (Par exemple, le logiciel Scenari Chain utilise un éditeur de document non Wysiwyg²).

3.4.7 Bilan

Après avoir étudié ces modèles, nous avons extrait des propriétés intéressantes pour définir notre modèle (tableau 3.3). Nous avons identifié des propriétés intéressantes telles

1. l'approche narrative ;
2. une représentation du scénario facilitant la réingénierie de celui-ci ;
3. un modèle basé sur des activités identifiées ;
4. une collaboration entre les acteurs de la conception ;
5. une articulation de mini-jeux ou d'étapes dans un scénario global ;

1. <https://www.scenari.org/modeles/Topaze/>

2. WYSIWYG est un acronyme pour *What You See Is What You Get*, à l'instar des traitements de texte de type Microsoft Word

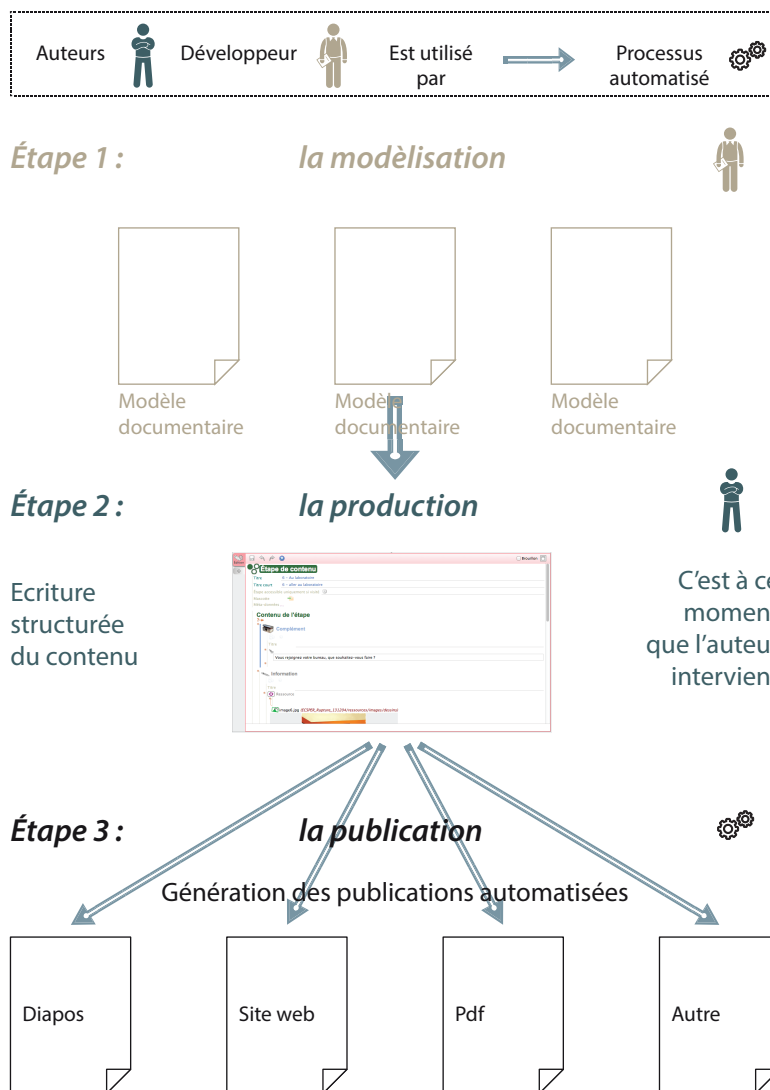


Figure 3.9 – Principe d'une chaîne éditoriale d'après [Gebers and Crozat, 2010].

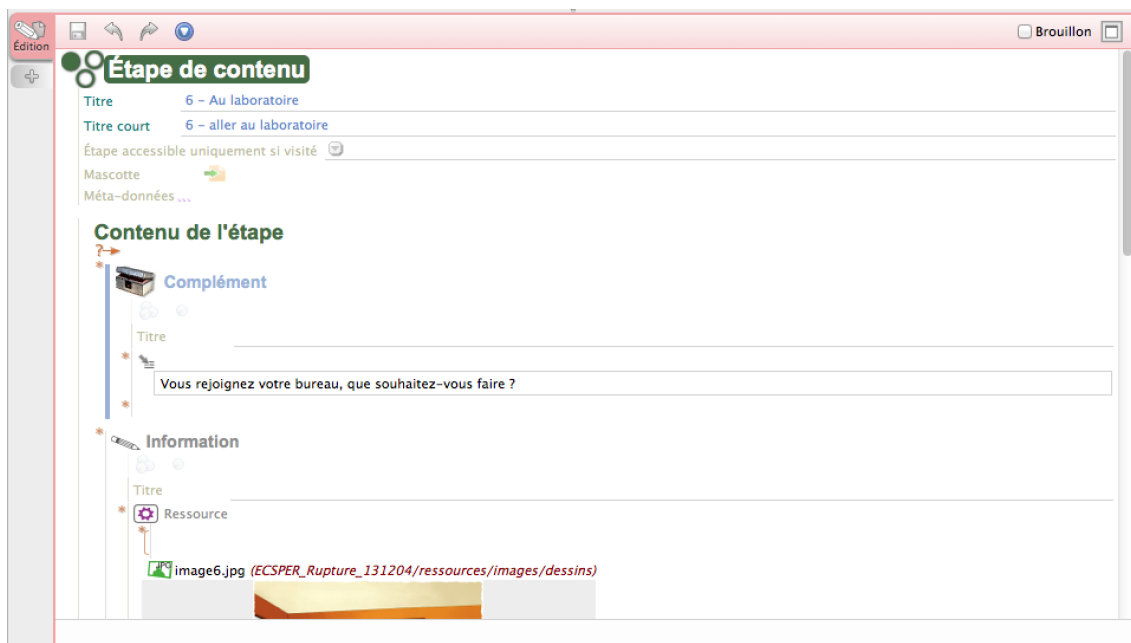


Figure 3.10 – Interface de Scenari avec le modèle Topaze.

6. une facilitation de la production en intégrant des aspects sémantiques.

Ces modèles proposent un cadre capable de décrire les aspects pédagogiques et ludiques d'un *learning game*. Pour autant ils ne précisent pas les modèles informatiques utilisés pour traduire en artefacts la conception de ces EIAH. Or nous savons par expérience que, sans modèle prédéfini, les enseignants éprouvent des difficultés à penser les objets à mettre en place dans la phase de conception.

3.5 Synthèse

Dans un premier temps, nous avons identifié des pratiques pédagogiques connues ou compréhensibles par les enseignants du supérieur. Ces éléments nous ont permis de définir un type de *learning game* que nous décrirons dans le chapitre suivant.

Ainsi nous avons choisi de partir des éléments suivants :

- intégrer les principes de la Méthodes des Cas (constructivisme, cas réels, etc.) ;
- offrir un parcours libre et non-linéaire (comme le propose des TCS) ;
- proposer des rôles aux apprenants-joueurs et des challenges sous forme de missions (sur le paradigme des jeux de rôles) ;

Dans un second temps, nous avons étudié différentes méthodes, modèles et outils pour la conception d'EIAH ou de *learning games*, obtenant ainsi un ensemble de propriétés et de limites. Au sein de cet ensemble, nous avons identifié et choisi les propriétés qui nous semblaient intéressantes pour définir un modèle de *learning game* adapté pour l'approche *meta-design*.

	Propriétés	Limites
MoPPLiQ [Marne and Labat, 2014]	Facilite la réingénierie du scénario	Modèle centré uniquement sur le scénario
WEEV [Marchiori et al., 2012]	Propose une approche narrative avec un scénario basé sur les interactions	Limitation sur la durée du <i>learning game</i> dû à une représentation du scénario complexe et prévu pour un seul enseignant auteur
ATMSG [Carvalho et al., 2015]	Précise le type d'activités selon 3 catégories : <i>gaming</i> , <i>learning</i> , <i>instructional</i> elles-mêmes identifiées par des actions, des objectifs et des outils	Modèle théorique assez difficile à appréhender par les enseignants
ScenLRPG [Mariais, 2012]	Offre un modèle collaboratif ciblé sur un type de <i>learning game</i> précis	Modèle centré sur le scénario et peu adapté pour les <i>learning games</i> complexes
Legadee [Marfisi-Schottman, 2012]	Articule des mini-jeux dans un scénario global	Approche coopérative en parallèle plutôt que collaborative
Scenari Chain et Topaze [Quelennec et al., 2010]	Facilite la production en intégrant des aspects sémantiques	Ne propose pas de support à la conception, en particulier des <i>learning games</i>

Tableau 3.3 – Propriétés et limites pour différents modèles de *learning games*

Ainsi nous avons choisi de privilégier les propriétés suivantes :

- identifier clairement la place de l'enseignant et son rôle dans la conception ;
- un modèle simple permettant la réingénierie des *learning games* produits ;
- un modèle décrivant l'ensemble des éléments nécessaires à la conception d'un *learning game* ;
- une conception collaborative basée sur des composants (activités, mini-jeux, etc.) et sur les approches agiles ;
- une approche narrative.

Enfin, l'indicateur THEDRE retenu pour cette partie concerne le nombre de documents lus pour réaliser cet état de l'art. Bien entendu, cet indicateur a largement évolué tout au long de ce doctorat. Nous n'indiquons que la valeur finale et uniquement pour les articles directement associés à l'état de l'art présenté dans ce chapitre.

Nous avons lu et résumé 26 articles de recherche (revues, journaux, *proceedings*), livres ou thèses pour élaborer notre étude de l'état de l'art. Il faut ajouter à ce nombre les documents lus pour étayer les propositions et affirmations présentées dans les autres chapitres de ce manuscrit.

Chapitre 4

Premier Pas vers le *Meta-Design* : le Modèle DISCO et la Visualisation des Traces d'Usage des Apprenants

Les publications suivantes intègrent tout ou partie des travaux présentés dans ce chapitre :

[Vermeulen et al., 2016b] Vermeulen, M., Mandran, N., and Labat, J.-M. (2016b). DISCO, a Formal Model of Serious Games to Help Teachers at the Design Stage. In *Doctoral Consortium (DCCSEDU 2016)*, pages 3–8

[Vermeulen, 2016] Vermeulen, M. (2016). Un modèle formel de jeux sérieux de type étude de cas pour l'enseignement supérieur : le modèle DISCO. In *RJC'EIAH 2016, Actes des 6èmes Rencontres Jeunes Chercheurs en EIAH*, Montpellier, France

[Vermeulen et al., 2016a] Vermeulen, M., Mandran, N., and Labat, J.-M. (2016a). Chronicle of a scenario graph: from expected to observed learning path. In *EC-TEL 2016, Adaptive and Adaptable Learning*, Lecture Notes in Computer Science, pages 321–330, Lyon, France. Springer International Publishing

Pour proposer une approche *meta-design* aux enseignants, il nous faut agir sur les phases de conception et d'usage. Marne [Marne, 2014] ajoute que la réingénierie des *learning games* semble indispensable pour favoriser l'usage de ces derniers. Comme évoqué au chapitre précédent, la proposition d'un modèle de *learning game* est un préalable à l'intégration des enseignants dans la conception (en tant qu'utilisateurs finaux) de ces EIAH. D'autre part, la réingénierie nécessite une analyse de l'usage de ces derniers [Choquet, 2007] et de fait, permet de rendre les enseignants actifs dans la phase d'usage.

Ce chapitre aborde une première proposition quant à la problématique de la conception et de l'usage des *learning games* par les enseignants du supérieur. Les propositions énoncées ici font référence au premier sous-processus "Planification" de la méthode THEDRE décrite au second chapitre, plus précisément du bloc "Concevoir l'instrument à produire par la RICH". Le plan de cette partie reprend les préconisations de THEDRE, en particulier le découpage en sous-processus ("Planification", "Expérimentation", "Contrôle" et in fine "Construction et Décision"). Les expérimentations associées ont été réalisées suivant le diagramme d'orchestration de la figure 4.1.

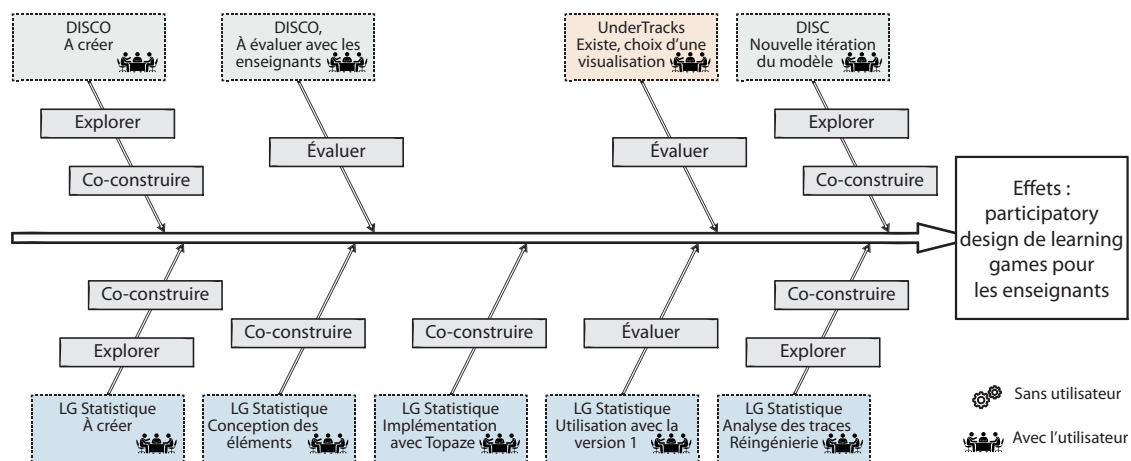


Figure 4.1 – Diagramme d'orchestration des outils activables DISCO et du *learning game* EBE

Dans les deux premières parties, nous donnons une première proposition en deux temps : nous définissons un type de *learning game* adapté à notre terrain d'étude baptisé *learning gamebook* ; puis, nous proposons un modèle de *learning gamebooks* baptisé DISCO, la méthode associée à ce modèle et le travail préparatoire effectué conjointement avec les enseignants pour définir le type de traces d'usage des apprenants. La partie suivante précisera la genèse de ces propositions, ces dernières étant nées à l'issue de l'étude de l'état de l'art décrit dans le chapitre trois et d'une démarche exploratoire basée sur de précédentes conceptions de *learning games* compatibles avec le type *learning gamebooks*. Dans cette partie, nous donnons une première évaluation de ce modèle avec les enseignants à l'aune des indicateurs définis en amont au travers d'entretiens menés avec eux. Enfin, une seconde évaluation du modèle est faite au travers d'un *learning game* conçu selon le modèle DISCO au travers de l'analyse des traces d'utilisation par les apprenants, et de l'amélioration de celui-ci après une phase de réingénierie. Ces deux évaluations, l'une lors de la phase de conception, l'autre lors de la phase d'usage

contribueront à l'amélioration du modèle proposé (en accord avec la méthode THEDRE et les indicateurs adéquats).

4.1 Définition d'un type de *learning game* : le *learning gamebook*

Les modèles trop génériques peinent à faciliter la conception et l'usage de *learning games*. Pour créer un modèle adapté à l'enseignement supérieur, il semble légitime de préciser le type de *learning game* compatible avec, d'une part un grand nombre de thématiques, et d'autre part, aisément compréhensible par les enseignants.

Nous avons ici pris le parti de proposer un modèle pour la conception de *learning game* à étapes, autrement dit ceux dont le scénario peut-être fractionné en étapes (qui peuvent être des niveaux, des études de cas ou des exercices de différents types) [Marne, 2014], ces dernières étant très largement indépendantes les unes des autres (même si elles sont reliées par le support d'une histoire). Plus spécifiquement, en nous appuyant sur les travaux antérieurs montrant l'intérêt de la Méthode des Cas pour l'enseignement supérieur [Marfisi-Schottman et al., 2013], mais aussi sur les travaux montrant l'intérêt du jeu de rôle pédagogique [Mariais, 2012], notre modèle permet la conception de *learning gamebooks* ou "*learning games* dont vous êtes le héros".

Nous définissons un *learning gamebook* comme un *learning game* :

- à étapes,
- basé sur un scénario multilinéaire, déterministe ou non-déterministe,
- mono-joueur ou multi-joueurs,
- reprenant les principes du jeu de rôle, en particulier dans le cas du "Livre dont vous êtes le héros" (jeu de rôle mono-joueur),
- intégrant des études de cas et problèmes à réaliser par les apprenants-joueurs basés sur des situations réelles.

Cette proposition découle naturellement des nombreuses caractéristiques communes entre la Méthode des Cas et le jeu de rôle pédagogique tel que le définit Daniau [Daniau, 2005]. Dans notre cas, les situations de la définition de Daniau peuvent être des cas réels (qui font alors office de supports scénaristiques).

Nous pouvons rapprocher cette proposition du paradigme des *Narrative centered-learning environments* qui sont définis comme

*a class of game-based learning environments that contextualize educational content and problem solving with interactive story scenarios.*¹ [Rowe et al., 2011].

Le scénario des *learning gamebook* est donc un élément central. Il doit favoriser les choix de l'apprenant-joueur et lui permettre de construire sa propre histoire en fonction de ceux-ci.

1. Que l'on peut traduire par : une catégorie d'environnements d'apprentissage basé sur le jeu qui contextualisent le contenu éducatif et la résolution de problèmes au travers de scénarios interactifs sous forme d'histoires.

Un autre paradigme approchant est celui des Jeux Epistémiques Numériques (JEN). Loup [Loup et al., 2015] propose ainsi un ensemble de caractéristiques pour définir les JEN. Selon Loup, un jeu peut être considéré comme un JEN si :

- il propose aux apprenants de résoudre des problèmes non-déterministes ;
- il concerne la résolution de problèmes complexes ;
- il s'appuie sur des activités pluridisciplinaires ;
- l'apprenant-joueur évolue dans un contexte réaliste et authentique suggéré ;
- l'apprenant réalise le jeu avec le savoir-faire, les méthodes, les connaissances et les valeurs professionnelles qu'il incarne.

Cette définition rejoint les *learning gamebooks* sur plusieurs points tout en étant plus large. Les auteurs indiquent par ailleurs d'autres caractéristiques considérées comme secondaires qui sont présentes dans certains JEN qu'ils ont étudiés et que nous ne préciserons pas ici.

Le modèle proposé est résolument axé sur la conception de ce type de *learning game*.

4.2 Un Premier Modèle de conception : DISCO

À l'issu d'un premier état de l'art, nous avons donc extrait un ensemble de caractéristiques intéressantes :

1. identifier clairement la place de l'enseignant et son rôle dans la conception ;
2. un modèle simple permettant la réingénierie des *learning games* produits ;
3. un modèle décrivant l'ensemble des éléments nécessaires à la conception d'un *learning game* ;
4. une conception collaborative basée sur des composants (activités, mini-jeux, etc.) et sur les approches agiles ;
5. une approche narrative.

En parallèle, à l'aune des modèles et méthodes étudiés, nous avons choisi de définir à la fois un modèle et une méthode qui intégrera les caractéristiques précisées en amont. Les points 1, 5 et dans une moindre mesure le 4 impactent largement le processus plutôt que le modèle. Les points 2, 3 et 4 nous donnent des critères que nous devons retrouver dans le modèle que nous souhaitons définir.

4.2.1 Première proposition, le modèle DISCO et la méthode associée

L'état de l'art et l'étude exploratoire auprès d'enseignants auteurs ont mis en avant un certain nombre d'éléments constitutifs des *learning games* du type choisi : **des objectifs pédagogiques, un modèle du domaine, des interactions avec la simulation de ce modèle du domaine, un contexte incluant des contraintes d'usage et un scénario et non-linéaire à étapes structuré autour d'une trame narrative.**

Nous avons ainsi tiré de ces différents travaux un ensemble d'éléments utiles pour la co-conception des *learning games* avec les enseignants. Ils constituent la base d'un premier modèle de *learning game*, le modèle DISCO. Ce modèle est dédié à la conception de *learning gamebooks* définis précédemment.

Notre première proposition de modèle pour la conception de *learning gamebook* adaptée à un processus de *meta-design* s'énonce ainsi :

Un *learning game* de type *learning gamebook* peut être considéré comme un 5-uplet contenant les objets D , O , I , S et C tels que (figure 4.2) :

D : Modèle du domaine restreint au contexte des apprenants, graphe dont les nœuds sont les connaissances ou les compétences du domaine et les arcs traduisant les liens de pré-requis reprenant les concepts du CbKST [Kopeinik et al., 2012] [Melero et al., 2015]. Ce graphe doit inclure les connaissances initiales nécessaires de l'apprenant (pré-requis).

O : Objectifs pédagogiques, un sous graphe du graphe du domaine avec éventuellement une indication du niveau de performance attendu.

I : Interactions, ensemble disponible d'interactions avec la simulation du modèle du domaine. Par exemple, la réalisation de puzzle ou les glisser-déposer sont des types d'interactions possibles.

S : Scénario, scénario à étapes sous forme de graphe orienté, chaque nœud (un pas) étant la réalisation complète d'un problème, ce qui donne une grande flexibilité dans la scénarisation. Chaque enseignant pouvant à volonté les modifier et les adapter à son usage propre.

C : Contexte d'usage, une phrase ou un ensemble de phrases explicitant ce contexte et les contraintes associées. En particulier, cet élément précise l'activité pédagogique dans laquelle le *learning game* s'intègre. L'élément C intervient à la fois dans le *jeu-play* et le *jeu-game* tels que les décrits Sanchez [Sanchez et al., 2015] : en précisant le contexte et les contraintes d'usage, il agit sur la conception de l'objet jeu et sur la situation pédagogique dans laquelle le jeu prend place.

On obtient ainsi (en changeant l'ordre des éléments), le modèle DISCO.

Le rôle de l'enseignant-auteur du *learning game* est défini pour chaque élément, et il est présent dans toutes les phases de la conception (figure 4.3) : spécification des objectifs généraux, spécification de D , spécification de O , définition de C , construction de S et enfin définition et choix de I . Nous considérons ici l'enseignant-chercheur scientifique, qui possède une connaissance de la notion de graphe. Dans nos expérimentations, il est accompagné d'un ingénieur pédagogique qui facilite la production des documents relatifs aux éléments de DISCO et prend en charge la production du jeu. Le processus reprend aussi des éléments de la méthode MISA [Paquette et al., 1999] et de la méthode proposée par Marfisi [Marfisi-Schottman, 2012] mais en misant sur un aspect collaboratif sur chaque étape.

Le processus se veut itératif en proposant aux enseignants-auteurs une phase de réingénierie (figure 4.3). La méthode met ainsi en oeuvre des principes issus des approches agiles, au niveau du processus mais aussi au niveau de la conception du scénario. Nous avons ainsi choisi de placer cette étape tardivement dans le processus pour mettre en place une conception itérative avec prototypage rapide (telle que préconisée par [Marne et al., 2012a]). Les enseignants précisent un cheminement optimal au sein de S (celui qui optimise l'acquisition des compétences en durée et en nombre de pas). Nous reviendrons

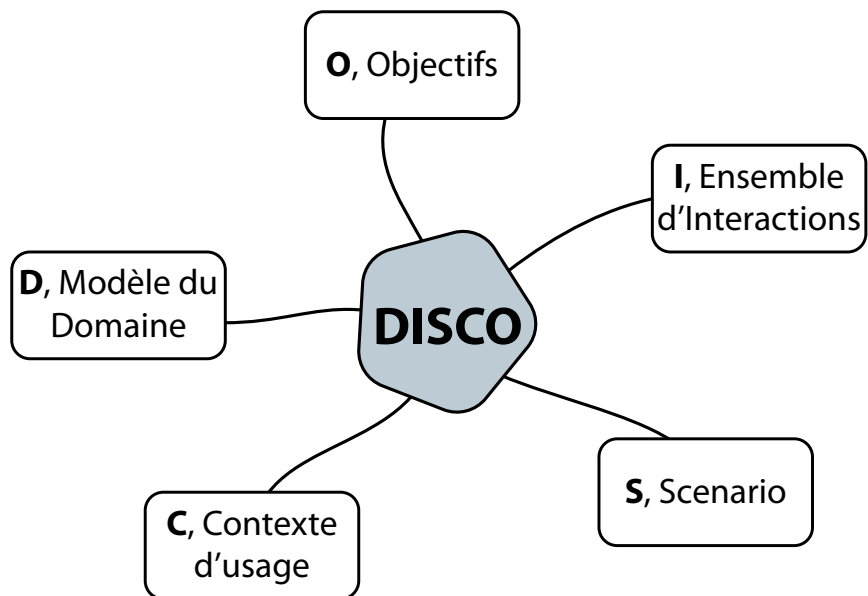


Figure 4.2 – Éléments constitutifs du modèle DISCO.

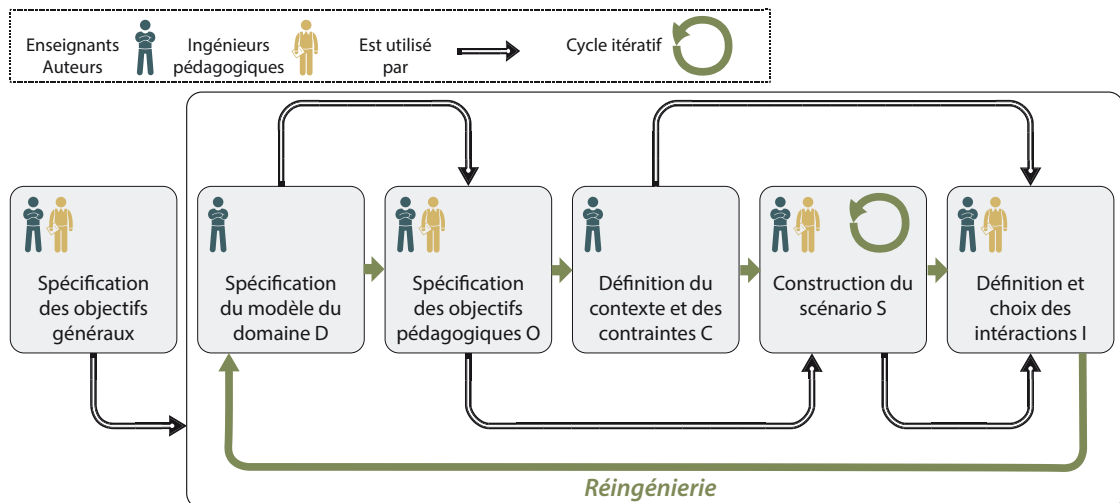


Figure 4.3 – Méthode de conception associée au modèle DISCO comprenant la phase itérative de conception du scénario.

plus tard sur cette notion.

4.2.2 Visualisation de traces d'usages et réingénierie

Nous avons déjà pointé la nécessité de pouvoir procéder à une réingénierie du jeu pour l'adapter aux objectifs pédagogiques de ceux-ci, un point mis en avant par Marne [Marne, 2014]. Comme évoqué dans le premier chapitre, ce processus de réingénierie nécessite des traces d'usage des EIAH (retours, feedbacks, données) par les apprenants [Choquet and Iksal, 2007].

Mandran [Mandran, 2017] précise l'importance de définir le type de traces à recueillir en amont de la collecte de celles-ci. En accord avec l'approche *meta-design*, cette action doit être menée avec les enseignants (en tant qu'utilisateurs finaux). Pour ce faire, nous préconisons à l'issue de la passation du modèle avec les enseignants, de travailler sur l'intention des enseignants quant à l'utilisation des traces d'usage des apprenants, puis de définir avec eux le type de traces et éventuellement leur forme (voir partie 4.4.2).

4.3 Co-construction et évaluation du modèle DISCO

La proposition énoncée dans les parties 4.2.1 et 4.2.2 a été élaborée à la suite de notre étude de l'état de l'art et des travaux antérieurs sur l'analyse de traces menés au sein des différentes équipes de recherche en EIAH. Afin de travailler au plus près du terrain, lors de l'élaboration de l'état de l'art, nous avons aussi mené une démarche exploratoire à l'aide de méthodes existantes et de *learning games* conçus dans les années précédant ce doctorat. Pour ce faire, nous avons travaillé avec des enseignants et des ingénieurs pédagogiques auteurs de *learning games*. L'ensemble de ces travaux nous a permis de co-construire avec les enseignants le modèle DISCO, la méthode associée et la démarche d'analyse de traces.

4.3.1 Une démarche exploratoire basée sur la conception de *learning games* existants

En parallèle de l'état de l'art des modèles et méthodes de conception de *learning games*, nous avons travaillé sur une démarche exploratoire sur la conception de *learning games*. Un premier travail a été de choisir des *learning games* compatibles avec notre définition de *learning gamebook* et dont les concepteurs soient mobilisables et disponibles. Puis, après avoir, au travers d'entretiens libres, établi l'historique de conception de ces *learning games*, nous avons étudié ceux-ci à l'aune de la méthode des 6 facettes du jeu sérieux de Marne [Marne et al., 2012b] (Figure 3.3). Cet éclairage, appuyé par l'état de l'art, nous a permis de définir à la fois un premier modèle, mais aussi une première méthode de conception associée au modèle.

Les *learning games* étudiés sont un ensemble de jeux baptisés "Les ECSPER"². Un certain nombre d'entre eux furent construits autour du rôle des scientifiques missionnés par un juge pour réaliser une expertise sur une pièce à conviction. Ils sont basés sur des connaissances et compétences dans le domaine de la mécanique de rupture et de la

2. Les ECSPER est l'acronyme de Études de Cas Scientifique pour l'Expertise et la Recherche

fatigue pour un public d'étudiants de niveau M2 (figure 4.4). Un autre fût conçu autour du rôle d'ingénieur dans le domaine de la gestion de projet pour un public d'étudiants de niveau L3. L'objectif des enseignants était de permettre aux étudiants de se confronter à des situations réelles, telle qu'ils pourront les vivre dans leur métier d'ingénieur, de cadre scientifique ou de chercheur. Un objectif secondaire était de leur faire découvrir les bons gestes en rapport avec les thématiques et contextes proposés. Enfin, il s'agissait d'offrir une alternative aux travaux dirigés classiques, trop souvent réduits à des listes d'exercices décontextualisés. Les étudiants jouant aux ECSPER doivent être capables à l'issue du jeu de mobiliser les compétences thématiques nécessaires à la réalisation du jeu, mais aussi de résoudre un problème avec la démarche adéquate à la discipline. Ainsi, il s'agit de permettre aux étudiants de se confronter à des cas réels en jouant un rôle actif dans la résolution de celui-ci [Fronton et al., 2015].

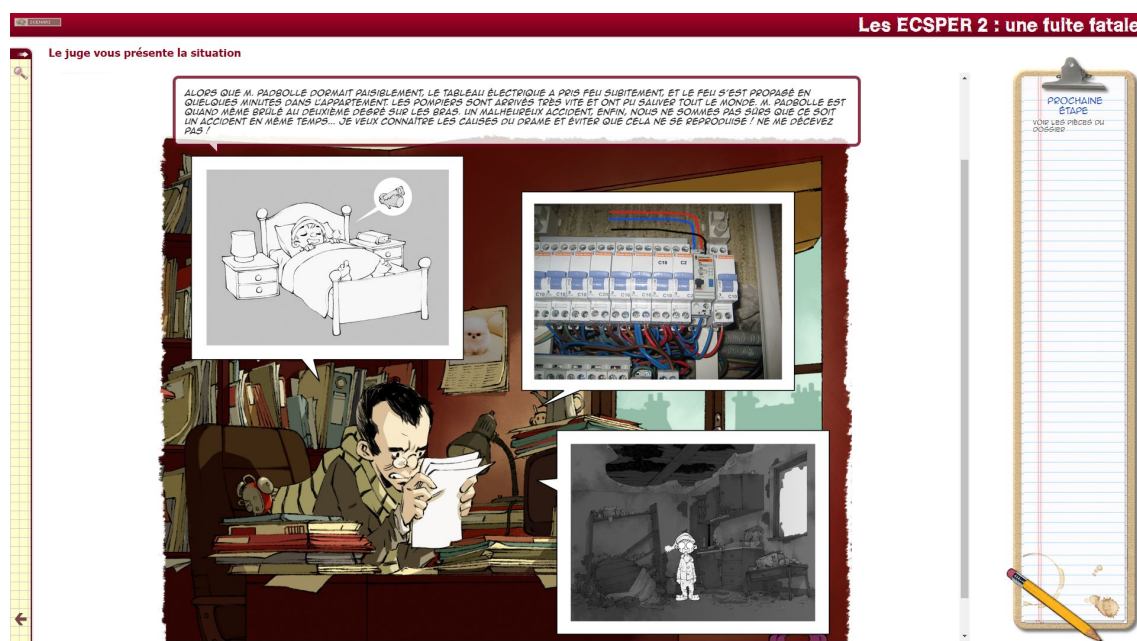


Figure 4.4 – Capture d'écran du *learning game* "Les ECSPER : Le robot tueur".

Nous avons rencontré les auteurs de l'un des jeux baptisé "Le robot tueur" en décembre 2015 : deux enseignants et une ingénieure pédagogique. À l'issue de l'entretien libre, nous avons élaboré un tableau reprenant les phases mises en avant par les auteurs et les facettes des 6 facettes du jeu sérieux (tableau 4.1). Ce travail nous a permis de mettre en avant les éléments qui composent le modèle DISCO. Nous avons choisi de mettre les aspects correspondant à la facette décorum de côté. En effet, les enseignants nous ont fait remarquer leur relativement faible appétence pour ce sujet, mais aussi le manque de compétences (qui de fait est plutôt l'apanage des *games designers* d'après les 6 facettes).

À l'issue de la phase de conception, les premiers tests du *learning game* avec des enseignants utilisateurs (auteurs du jeu et simples utilisateurs) ont commencé. Les premiers retours, recueillis à l'aide d'entretiens informels, ont fait état de la qualité du support et du scénario. Les conditions d'usage ont par contre été modifiées pour entrer en adé-

Phases de conception décrites par les auteurs	Document(s) produit(s)	facette correspondante
Définition des objectifs initiaux du <i>learning game</i>	Document texte	Facette Objectifs pédagogiques
Identification des pré-requis et compétences utiles avec l'élaboration d'un document sous forme de carte mentale avec les liens de pré-requis entre chaque compétence	Fichier tableur	Facettes Simulation du domaine
Choix des objectifs pédagogiques (compétences visées) au sein des compétences utiles à la vue des objectifs initiaux	Fichier tableur	Facette Objectifs pédagogiques
Description du contexte d'usage et des contraintes induites par celui-ci	Document texte	Facette Conditions d'utilisation
Conception du scénario non-linéaire en mode agile et itératif avec prototypage rapide pour valider celui-ci, le scénario pédagogique et le scénario ludique (trame narrative) étant construit en symbiose	Carte mentale et document texte	Facette Problème et progression
Choix des interactions et médiatisation	Fichier tableur	Facettes Interaction avec la simulation et Décorum

Tableau 4.1 – Processus de conception des ECSPER : Le robot tueur par rapport aux 6 facettes du jeu sérieux [Marne et al., 2012b].

quation avec les pratiques pédagogiques des enseignants utilisateurs (en particulier en ce qui concerne l'évaluation du travail des étudiants). Une enquête a été lancée auprès des étudiants utilisateurs sous forme d'un questionnaire. Malheureusement, le nombre de réponses obtenues, bien trop faible, et une méthode trop peu précise à l'époque n'ont pas permis l'obtention de chiffres significatifs et exploitables. De plus, l'adaptation du *learning game* pour d'autres enseignants fût délicate, en partie parce que la réingénierie de celui-ci nécessitait de trop grands efforts et n'était accompagnée d'aucune démarche de type *learning analytics*.

Au travers de ce travail et avec l'étude de l'état de l'art, nous avons élaboré le modèle DISCO. Les cinq éléments constitutifs du modèle reprennent certaines facettes du modèle des 6 facettes en les précisant. Nous avons aussi spécifié les documents attendus pour concevoir les *learning games*.

4.3.2 Passation et évaluation du modèle DISCO

Le modèle DISCO une fois défini, nous avons travaillé avec des enseignants potentiellement intéressés par la conception d'un *learning game*.

La passation avec les enseignants a été réalisée en janvier 2016 lors d'un entretien semi-directif avec les deux auteurs, enseignants de mathématique à IMT Lille Douai, tous deux relativement familiers des outils et concepts informatiques. Le modèle a été présenté à l'aide de documents papiers et de schémas explicitant la méthode (figure 4.3) et le modèle. La chaîne éditoriale Scenari et le modèle Topaze permettant un prototypage et une réalisation rapide, nous avons opté pour cet outil. Par ailleurs, les enseignants-auteurs étant familiarisés avec $\text{\LaTeX}$, le choix d'un outil non Wysiwyg et basé sur un système de balises a été apprécié par ces derniers. Les différents éléments du modèle DISCO ont été présentés, et nous avons, avec les futurs auteurs, détaillé les documents attendus. Par exemple, le scénario S a donné lieu à la l'utilisation par les enseignants de documents de type carte mentale réalisé avec XMind (figure 4.5). Juste après cette passation autour du modèle DISCO, nous avons organisé un *focus group* avec les enseignants pour préparer la phase d'usage du *learning game* et en particulier la question des traces d'usage des apprenants. Les enseignants ont manifesté le souhait de recueillir ces traces pour analyser les parcours de ces derniers mais aussi pour modifier le jeu si ces traces permettaient de repérer des situations aberrantes (ce qui rejoint la nécessité de réaliser une réingénierie du jeu). Les traces demandées sont les suivantes :

- les scores des apprenants ;
- les pas ordonnés chronologiquement, ce qui permet de recueillir le chemin des apprenants au sein du scénario S ;
- le temps passé sur le jeu ;
- le temps passé pour chaque pas.

Nous reviendrons dans la partie décrivant l'expérimentation sur le recueil des traces et sur les outils qui nous ont permis effectivement de récolter celles-ci.

La co-conception du *learning game* a pu effectivement commencer à l'issue de la passation et de la spécification des types de traces à recueillir.

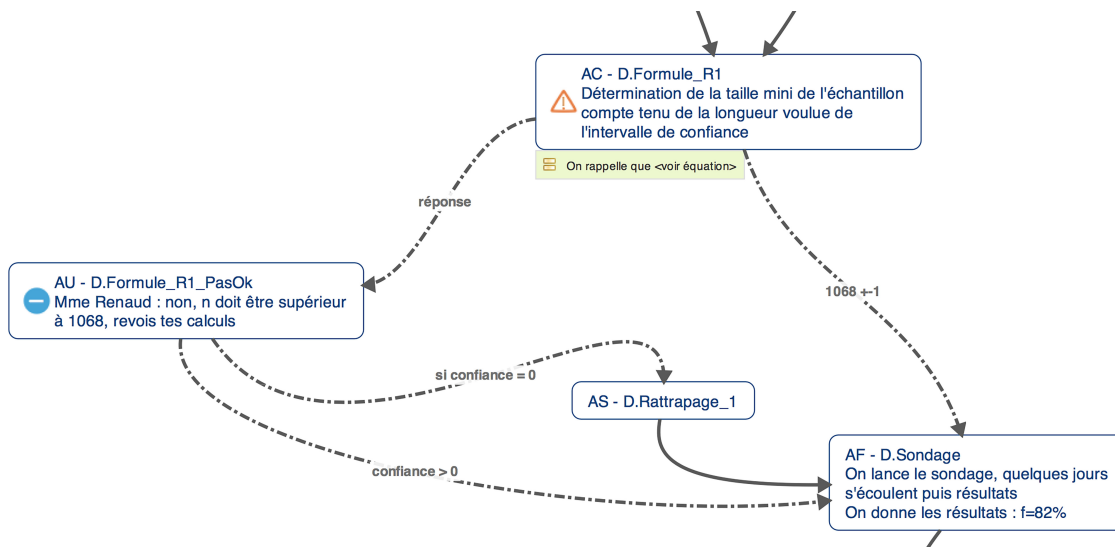


Figure 4.5 – Exemple d'un extrait de la carte mentale décrivant le graphe de scénario S d'un *learning game*.

4.4 Expérimentation du modèle DISCO : le *learning game* “Estimation du Bien-Être en Entreprise”

Suite à l'explication du modèle DISCO, nous avons co-construit avec les enseignants un *learning game*. Celui-ci, utilisé dans le contexte d'un *MOOC*, nous a permis de valider ou d'infirmer un certain nombre de propositions. Nous présentons ici, outre les objectifs du jeu et le contexte de l'expérimentation, l'environnement technique qui a permis la collecte des traces d'usage des étudiants. Afin d'analyser les données collectées, nous avons cherché à catégoriser celles-ci via des outils de fouille de données, puis via un travail manuel avec les enseignants-auteurs. Enfin, l'analyse ayant permis de repérer des comportements intéressants de la part des étudiants, nous avons opéré une réingénierie du *learning game* avec les enseignants.

4.4.1 Objectifs généraux du jeu et contexte de l'expérimentation

Le cours de statistique pour l'ingénieur est un cours de tronc commun de niveau L3 à IMT Lille Douai, dispensé principalement sous forme d'un *MOOC* à destination des élèves-ingénieurs et des inscrits à ce *MOOC* (souvent des professionnels en activité) développé par six écoles de l'IMT. Dans ce contexte, les enseignants ont manifesté l'intérêt de concevoir un *learning game* comme une activité de ce *MOOC*. Baptisé “Estimation du bien-être en entreprise” (EBE), le jeu propose à l'apprenant d'endosser le rôle d'une jeune recrue dans une entreprise cherchant à quantifier le bien être de ses salariés à l'aide de méthodes de statistique : construction d'un intervalle de confiance pour une proportion inconnue estimée par sondage aléatoire, utilisation de techniques probabilistes pour la garantie de l'anonymat des réponses.

Le *learning game* EBE (figure 4.6) a été intégré au *MOOC* “Statistique pour l'in-

génieur"³ en mars 2016 comme une activité de ce MOOC. L'objectif de cet EIAH est de mobiliser les connaissances et compétences des apprenants au travers de cas réels et concrets. EBE a été implémenté avec la chaîne éditoriale Scenari [Gebers and Crozat, 2010] et le modèle Topaze [Quelennec et al., 2010]. EBE a été conçu par une équipe composée de deux enseignants de mathématiques de l'IMT Lille Douai, d'une ingénieure pédagogique (sensibilisée au *game design*), et d'un chercheur méthodologue (ici, l'auteur de cette thèse).

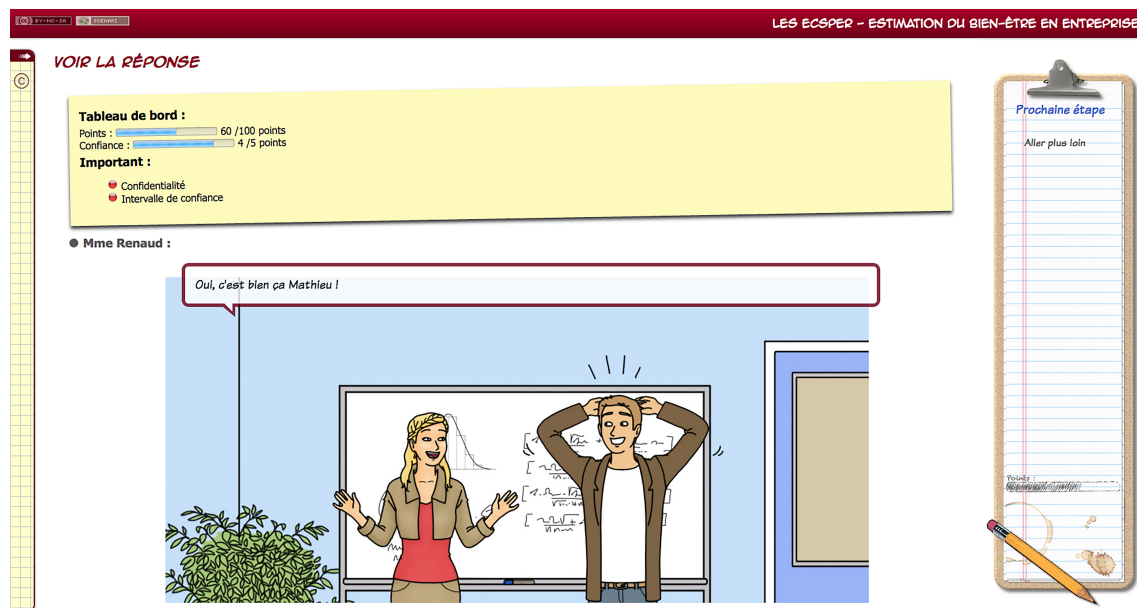


Figure 4.6 – Capture d'écran du *learning game* "Estimation du bien-être en entreprise".

4.4.2 Collecte des traces d'usage des apprenants

Nous avons donc réalisé un *learning game* en mars 2016 sur la base du modèle DISCO. Avec les enseignants auteurs, nous avons tout de suite eu l'intention de visualiser puis d'analyser les traces d'usage des apprenants. Comme évoqué précédemment, nous avons, lors d'un *focus group* et suite à la passation du modèle DISCO, défini les intentions et les besoins quant aux traces d'usage des apprenants. À l'aide de celles-ci, nous souhaitons atteindre un objectif des enseignants : comparer le chemin attendu par les enseignants et celui effectivement pris par les apprenants. Nous utilisons les termes de "scénario attendu" et "scénario observé" [Lejeune and Pernin, 2004]. Pour cela, il nous faut des traces montrant l'enchaînement chronologique des pas choisis par les apprenants. Les scores finaux et le temps pris par ces derniers pour chaque pas a aussi été demandé.

Les traces d'usage sont disponibles via des fichiers de données et de logs. Elles permettent effectivement de décrire le chemin pris par les étudiants au travers des graphes de scénario. Nous avons analysé ces données dans le but de comparer le chemin attendu par l'enseignant et le chemin pris par les apprenants.

3. <https://www.fun-mooc.fr/courses/MinesTelecom/04008S03/session03/about>

4.4.3 Environnement technique du jeu

Le MOOC "Statistique pour l'ingénieur" a été réalisé sur la plate-forme FUN⁴ (France Université Numérique) basée sur Open edX⁵. Un des objectifs des enseignants est de multiplier les activités pédagogiques au sein du MOOC, et, pour ce faire, en incluant un *learning game* [Freire et al., 2014].

Pour palier à la pauvreté des traces enregistrées sur FUN mais aussi à la difficulté d'intégrer des EIAH complexes dans cette plate-forme, nous avons déployé EBE sur la plate-forme Moodle⁶. Un précédent travail a permis la création d'une API (*plug-in* Moodle) basé sur SCORM Lite⁷. Celle-ci permet la récupération des traces d'activités des apprenants au sein d'EIAH conçus avec Topaze⁸. Ce dernier enregistre les pages visitées ordonnées chronologiquement, le temps passé sur chaque page et les scores finaux des apprenants. Ces données nous permettent de retracer le chemin des apprenants au sein du *learning game*. FUN et Moodle sont connectées via le protocole IMS-LTI [Forment et al., 2009], permettant ainsi aux apprenants d'accéder à EBE avec un identifiant unique et de manière anonyme (ce point faisant parti de la politique interne de FUN vis-à-vis du partage des informations individuelles des inscrits aux MOOC de FUN). Grâce à cet identifiant, les apprenants peuvent réaliser plusieurs sessions du jeu ou reprendre leur partie à tout moment. Les données sont stockées dans des fichiers csv (*Comma Separate Values*), aisément exploitables. En résumé, FUN fournit les données relatives aux profils des apprenants et Moodle les données relatives à l'utilisation du jeu (figure 4.7). Par contre, nous ne pouvons relier ces informations pour un apprenant donné (il est impossible pour un apprenant identifié nominativement de connaître son parcours au sein du jeu).

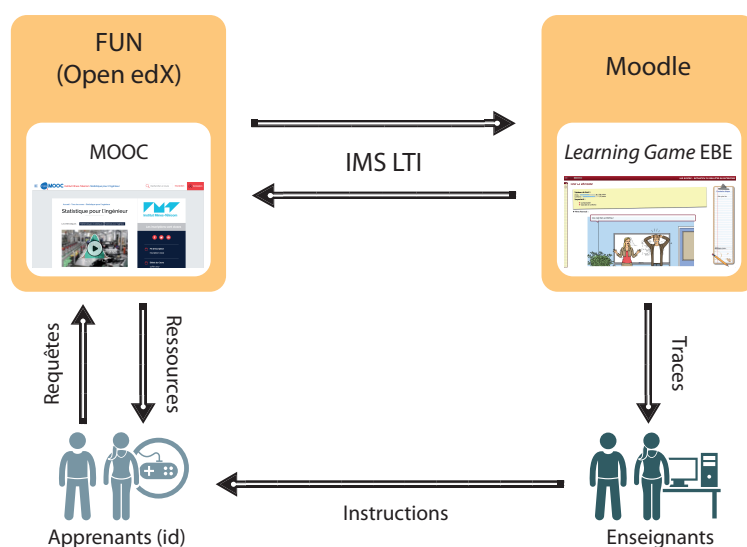


Figure 4.7 – Schéma de l'expérimentation d'EBE

4. <https://www.fun-mooc.fr/>

5. <https://open.edx.org/>

6. <https://moodle.org/>

7. <http://scormlite.com/>, un ensemble de *plug-in* visant à simplifier l'usage de SCORM.

8. Le plugin Moodle Topaze est disponible à l'adresse <http://scormlite.com/download/>

FUN nous donne donc le profil des 6958 apprenants inscrits au MOOC “Statistique pour l’ingénieur”(première session du MOOC, information relevée le 24 mars 2016). Nous pouvons établir qu’une large part d’entre eux

- possède à minima une licence ou un master (64%),
- est en activité (avec un travail ou en recherche d’emploi, 68%),
- et a plus de 25 ans (74%).

4.4.4 Nature des données et catégorisation

Les données ont été recueillies du 7 mars 2016 au 18 mars 2016 (un extrait du fichier de traces est disponible dans l’annexe D). Les apprenants commençaient alors leur troisième semaine de travail et avaient vu l’ensemble des pré-requis du jeu à travers différentes activités et médias (lectures, vidéos, documents et quiz). Au final, les données recueillies ont permis d’avoir les informations suivantes :

- 155 apprenants ont réalisé le *learning game* (ou une partie de celui-ci),
- 139 chemins distincts ont été identifiés (i.e. certains chemins sont présents plusieurs fois tel le chemin contenant un seul pas, Introduction, présent sept fois).

Les chemins étant globalement distincts les uns des autres, nous avons cherché à repérer des séquences intéressantes dans les chemins des apprenants. En particulier, les séquences représentant une erreur importante des apprenants semblent pertinentes : elles peuvent donner lieu à une réingénierie du *learning game*. Pour ce faire, étant donné la variété des chemins, nous avons cherché à déterminer des catégories parmi les chemins des apprenants.

4.4.4.1 Traitement et fouille de données

Un premier traitement simple consiste à représenter les chemins sous forme de listes de pas représentés par un code alphabétique : A, B, ..., Z, AA, AB, ..., AZ (soit 52 pas au total). Nous avons alors représenté les chemins des 155 étudiants sous forme de matrice de taille 155 par 52 (nombre de chemin x nombre de pas visités). Le volume de données étant peu important, nous avons commencé par utiliser des algorithmes simples pour repérer les pas les plus fréquemment associés dans les chemins des apprenants. Nous sommes partis de l’hypothèse que cette information permettrait de repérer plus aisément les séquences fréquentes.

Pour ce faire nous avons utilisé R project⁹, un environnement logiciel pour la statistique, et l’algorithme A-Priori [Agrawal and Srikant, 1994] qui a été implémenté pour ce logiciel. Cet algorithme sert à reconnaître des propriétés revenant fréquemment dans un ensemble de données, avec l’objectif de déduire une catégorisation de celles-ci, ce qui est effectivement notre objectif. Prenant en entrée un indice de support minimum et un indice de confiance minimum donnés, l’algorithme fonctionne en deux temps :

1. la recherche de tous les ensembles d’item fréquents, des items étant fréquents si leur fréquence d’apparition est supérieure à une fréquence minimum donnée baptisée support minimum (dans notre cas, la recherche de sous-ensembles de pas fréquemment présents dans les chemins des apprenants),

9. <https://www.r-project.org/>, basé sur le langage R dédié aux statistiques et à la science des données

2. La détermination des règles d'association dont la confiance est supérieure à l'indice de confiance minimum (en vue de faire une catégorisation).

La difficulté est de choisir correctement les paramètres de la fonction associée dans R. Dans notre cas, le support a été fixé à 0.01, une valeur très basse étant donné le relativement faible volume de données (en comparaison avec les volumes de données habituellement traités avec ce type d'algorithme). Il faut aussi choisir une taille (cardinal) adéquate. Nous avons choisi de regarder les sous-ensembles de taille 4, une taille de séquence intéressante qui correspond à une séquence de pas de type Quiz>Validation>Feedback>Choix suivant. La liste des sous-ensembles de pas fréquents est alors disponible (tableau 4.2). Malheureusement, le résultat est peu exploitable. En

	items	support	count
1	AT,C, L, X	0.8838710	137
2	AE,AT,C,L	0.8516129	132
3	AE,C,L,X	0.8516129	132
4	AE,AT,C,X	0.8516129	132
5	AE,AT,L,X	0.8516129	132
6	AE,AV,C,L	0.8000000	124
7	AE,AT,AV,C	0.8000000	124
8	AE,AV,C,X	0.8000000	124
9	AE,AT,AV,L	0.8000000	124
10	AE,AV,L,X	0.8000000	124

Tableau 4.2 – Les dix sous-ensembles de pas de taille 4 les plus fréquents au sein des chemins étudiés (*item*), la fréquence d'apparition associée (*support*) et le nombre d'apparition (*count*) obtenus avec R.

effet, on remarque (et ce fait se vérifie sur les 100 sous-ensembles les plus fréquents) la forte présence des pas X (Introduction, premier écran du jeu), AT (les règles du jeu, second écran), L et C (des étapes obligatoires correspondant aux troisième et quatrième pas du jeu). Ceci rend l'analyse par les enseignants peu efficace, ces pas ne représentant pas des éléments significatifs quant aux comportements des apprenants dans le jeu.

Nous avons en parallèle cherché à représenter les associations de pas les plus fréquentes sous une forme exploitable par les enseignants. R propose l'affichage de dendrogramme, un type de diagramme permettant de représenter des regroupements hiérarchiques fréquemment utilisés dans le domaine de la classification en informatique. R propose ainsi une fonction baptisée *dissimilarity()* qui, associée à une distance donnée (euclidienne, de Pearson, etc.), retourne une matrice de valeurs indiquant la distance entre chaque pas en fonction de leur fréquence d'apparition dans les chemins. Par exemple, la distance euclidienne entre deux pas, que nous avons utilisée ici, est la différence entre leur fréquence d'apparition (elle est donc nulle si ces fréquences sont égales). Ce dendrogramme (figure 4.8) est difficile à interpréter pour les enseignants. Néanmoins, nous pouvons regrouper les pas en trois grandes catégories associées aux trois branches principales du diagramme (cadres de couleurs).

Cadre vert : Il s'agit des pas par lesquels les apprenants passent de manière obligatoire (Introduction, règles du jeu, etc.). Ces pas se suivent dans le scénario et sont donc

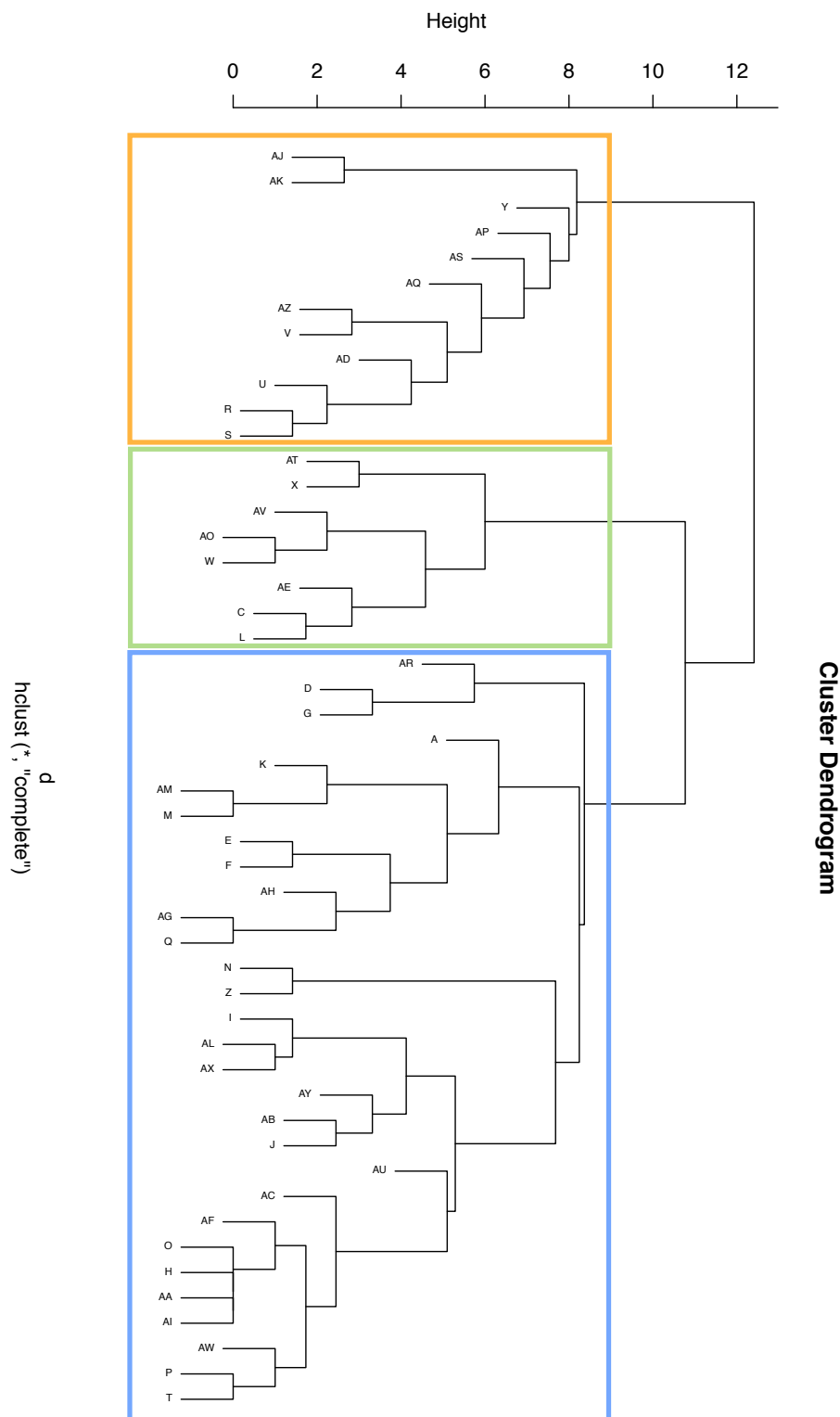


Figure 4.8 – Dendrogramme présentant les pas de EBE en fonction de la fréquence de leur association au sein de l'ensemble des 155 chemins étudiés avec la fonction *dissimilarity* de R (distance euclidienne) et les trois catégories repérées.

fréquemment associés, une donnée peu intéressante pour les enseignants.

Cadre orange : Cette catégorie regroupe les pas présents dans les chemins des apprenants ayant fini le jeu (avec une réussite ou un échec) et les étapes obligatoires sur ce type de chemin.

Cadre bleu : Cette dernière catégorie regroupe les autres pas sans information particulière. De fait ce groupe n'est pas exploitable en l'état.

Nous avons testé d'autres paramètres pour la fonction *dissimilarité()* avec des résultats peu exploitables.

La fouille de données est intéressante comme un prétraitement des données pour dégager des tendances. Néanmoins, en ne travaillant que sur des ensembles de pas, nous n'avons pas exploité la chronologie des pas qui constitue une donnée importante pour les enseignants. Nous avons de fait choisi de ne pas poursuivre le traitement, avec le risque d'obtenir une catégorisation inexploitable. Pour autant, le traitement des fichiers en amont de cette fouille permet d'envisager un travail manuel sur les données. Par ailleurs, une veille dans ce domaine a permis de trouver des travaux intéressants qu'il nous faudra exploiter à l'avenir : utilisation d'algorithmes génétiques pour analyser des exercices paramétrés [Guerra et al., 2014], fouille de données pour les EIAH [Bogarín et al., 2018], etc.

4.4.4.2 Catégorisation des chemins

Notre objectif est de permettre aux enseignants auteurs du *learning game* d'analyser les données par eux-mêmes. Suite aux travaux infructueux sur la fouille de données, nous avons compté le nombre de pas parcourus pour chaque apprenants. Nous pouvons remarquer que les apprenants qui ont fini le jeu ont réalisé plus de 38 pas (en vert dans le graphe 4.9), ce qui montre l'effort nécessaire pour finir le jeu. Nous avons alors regroupé ces chemins dans quatre catégories à l'aide du graphe obtenu (figure 4.9) et les avons comparés au chemin attendu par les enseignants. Les 4 catégories sont :

1. Les abandons rapides, les apprenants qui ont parcouru huit pas ou moins (moins de 10% du jeu). Cette catégorie nous donne peu d'informations sur le *learning game*.
2. Les apprenants qui ont fini le jeu avec succès.
3. Les apprenants qui sont sortis sur un *Game Over*.
4. Les abandons, les apprenants qui n'ont pas fini le jeu mais qui ont réalisé plus de 35% du jeu (Ils ont éventuellement fait d'autres sessions de jeu). Pour cette catégorie, après analyse du chemin parcouru, nous avons remarqué deux situations d'abandon. La première semble être le type de pas du dernier pas visité : 29 apprenants ont quitté le jeu sur un pas de type "Quiz" (en bleu dans la figure 4.10). Ces pas sont importants quant à l'acquisition ou au renforcement de compétences pour les apprenants. Ils représentent les pas clés du scénario attendu défini par les enseignants.

4.4.5 Visualisation des chemins des apprenants

Ainsi, pour permettre l'analyse des traces par les enseignants, nous avons choisi de représenter graphiquement les chemins des apprenants avec des bâtonnets de couleur :

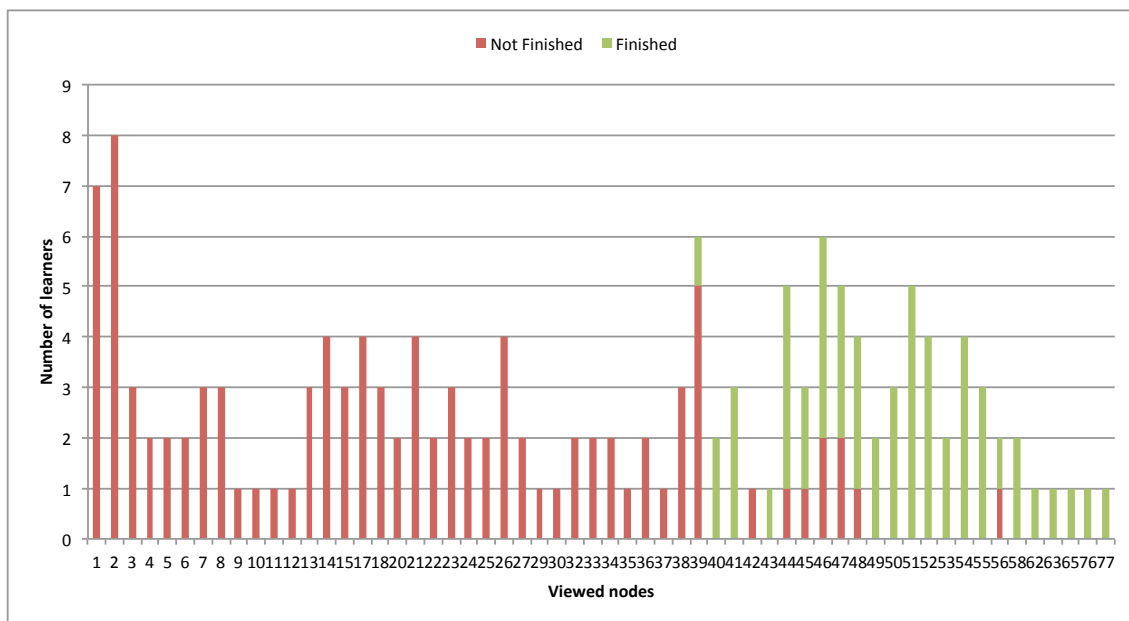


Figure 4.9 – Nombre d'apprenants par nombre de pas vus.

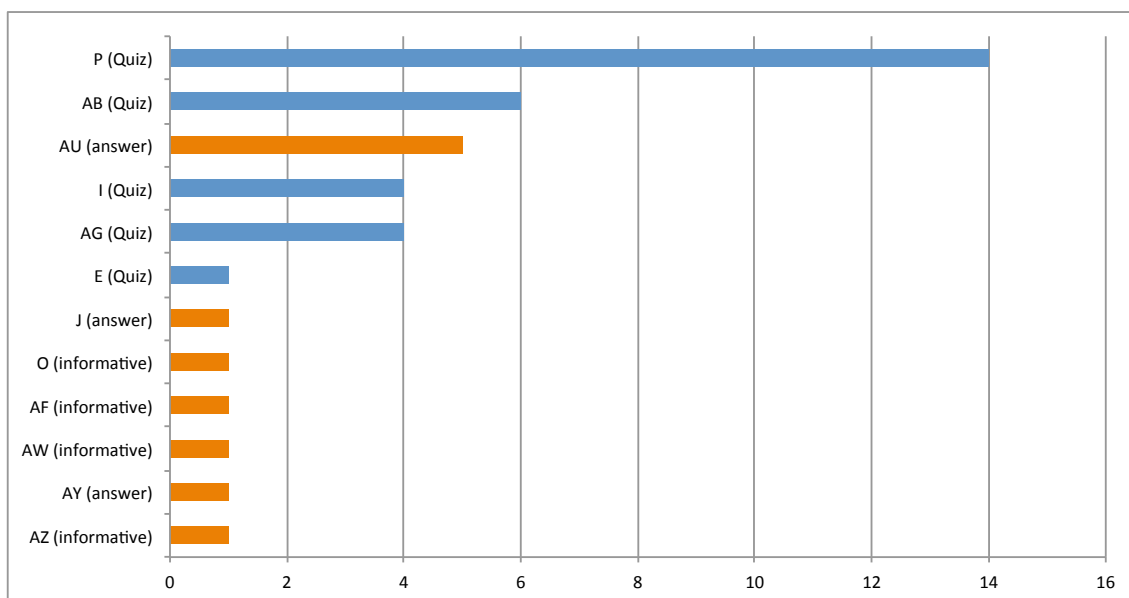


Figure 4.10 – Derniers pas vus par les apprenants qui ont réalisé plus de 35% du jeu (i.e. de la catégorie des abandons).

une couleur unique pour chaque pas (figure 4.11). Ces bâtonnets sont placés suivant l'ordre chronologique de passage des apprenants sur les pas.

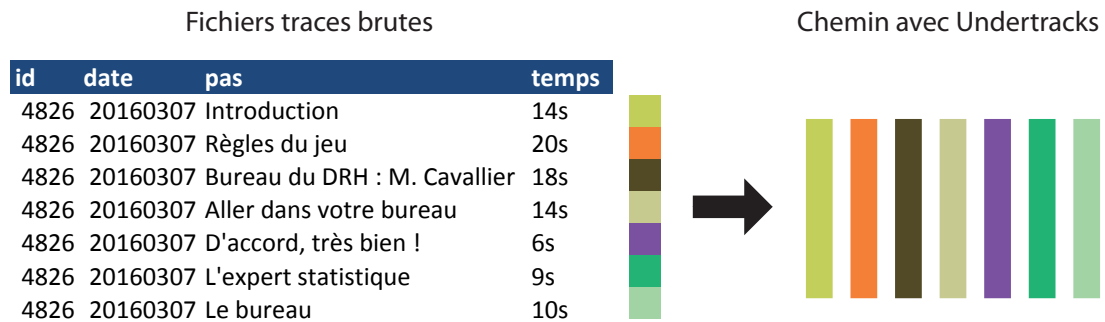


Figure 4.11 – Visualisation du chemin d'un apprenant réalisée avec Undertracks.

La visualisation des traces a été obtenue à l'aide de la plate-forme *Undertracks*¹⁰ [Mandran et al., 2015], un outil conçu pour capitaliser et analyser les données d'usage. Cet outil a été conçu par le le LIG (Laboratoire Informatique de Grenoble).

Pour chaque catégorie proposée, nous avons présenté la visualisation des traces conçue avec *Undertracks* aux enseignants. Par exemple, la figure 4.13 affiche les chemins des neuf apprenants qui ont obtenu un *game over*. Nous avons alors réalisé avec ces derniers une analyse fine des chemins pour chaque catégories. Les enseignants ont très vite reconnu des séquences spécifiques, dont certaines présentent l'intérêt d'être associée à des pas repérés comme des pas d'abandon des apprenants. Cette reconnaissance visuelle associée à une catégorisation préalable a permis l'identification de séquences fréquentes.

Pour montrer l'intérêt de cette démarche réalisée avec les enseignants (catégorisation et visualisation), nous avons focalisé notre analyse sur une partie précise très souvent présente dans les chemins des apprenants du *learning game* "Estimation du bien-être en entreprise" : la séquence [AB, AC, AU, AF] (Figure 4.12). Cette séquence représente une erreur importante des apprenants réalisée après un temps de jeu important. Les séquences attendues par les enseignants (considérées comme correctes du point de vue de l'acquisition ou du renforcement de connaissances et/ou compétences) sont les séquences [AB, AF] et [AB, AC, AU, AS, AF].

4.4.6 Analyse et réingénierie

Pour chaque catégorie (sauf pour les abandons rapides qui n'ont pas atteint ce passage du jeu), nous avons donc analysé la séquence [AB, AC, AU, AF]. Nous avons remarqué que les apprenants ont souvent perdu un point de confiance (un point de vie) au niveau de l'étape AB (Tableau. 4.3), même pour ceux qui ont fini le jeu avec succès (57% d'entre eux ont fait une erreur à l'étape AB). Tous les apprenants ayant fait *game over* ont perdu un point de confiance à cette étape (figure 4.13). Ce point particulier, vu avec les enseignants, a initié la réingénierie du *learning game*. Ainsi pour cette séquence, les enseignants ont proposé l'ajout d'une étape juste avant l'étape AB.

10. <http://undertracks.imag.fr>

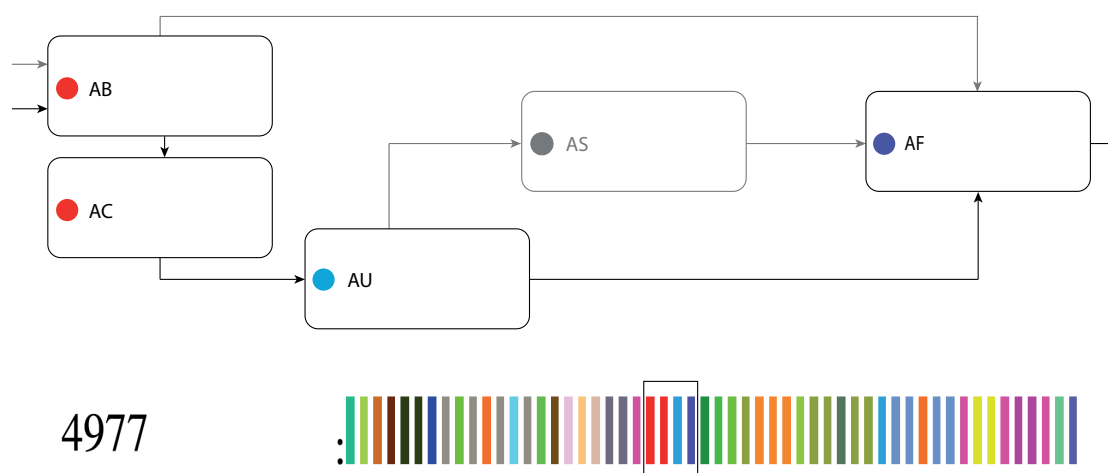


Figure 4.12 – Un erreur majeure visible dans le parcours d'un étudiant (visualisée avec Undertracks) et la représentation sous forme de graphe associée.

Réussite	<i>Game Over</i>	Abandon
57%	100%	63%

Tableau 4.3 – Apprenants ayant perdu un point de vie à l'étape AB.

Cet ajout apporte des rappels et des précisions facilitant ce passage du jeu et a été intégré dans la nouvelle version du *learning game*. Avec le logiciel R, sur l'ensemble des chemins avec l'algorithme apriori, l'ensemble des pas AB,AC,AF,AU se retrouve avec une fréquence de 0.477 (48%) soit dans 74 chemins sur les 155 étudiés. Cette information nous montre que ce ne sont pas forcément les séquences les plus fréquentes qui sont intéressantes, sauf si elles correspondent à des pas importants du point de vue des objectifs pédagogiques. Il faut donc associer une sémantique pour faciliter la lecture des résultats.

D'autres éléments intéressants ont été observés lors de cette analyse, en particulier lors de la visualisation des étapes menant à l'abandon des apprenants :

- L'analyse des apprenants de la catégorie 1 (les abandons rapides) a révélé le besoin de retravailler les première et seconde étapes du *learning game* pour éviter l'abandon rapide.
- Nous avons observé un fort taux d'abandon lors ou immédiatement après les étapes intégrant un quiz. Les enseignants ont proposé d'intégrer des étapes de rappel en amont de ces étapes. Ils ont aussi proposé de simplifier certaines questions.
- Enfin les enseignants ont noté la nécessité d'améliorer les retours (*feedbacks*), particulièrement en cas d'erreurs de la part des apprenants.

Suite à ces travaux nous avons commencé une campagne d'entretiens auprès des enseignants afin de recueillir les avis des enseignants et leur besoins. Ces données favoriseront la réingénierie du *learning game*.

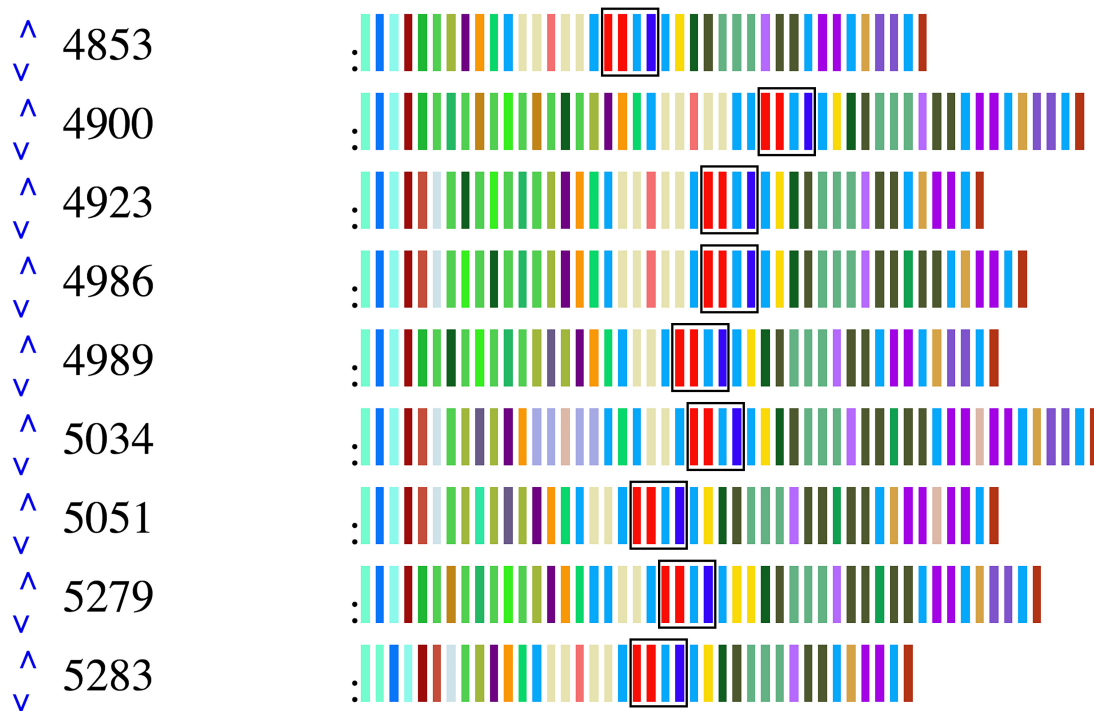


Figure 4.13 – Visualisation avec Undertracks des chemins des 9 étudiants ayant obtenu un *game over*. La séquence [AB, AC, AU, AF] est encadrée en noir.

4.5 Synthèse

L'évaluation du modèle et l'expérimentation menée montre la pertinence de l'approche *meta-design* des *learning games*.

Nous pouvons pointer les points suivants :

- l'adoption rapide du type de *learning game* par les enseignants ;
- une meilleure compréhension des concepts associés au *learning game* grâce aux éléments du modèle DISCO ;
- l'intérêt de la représentation initiale du modèle du domaine sous forme de carte mentale ;
- la pertinence de l'analyse collaborative des traces avec les enseignants, mais aussi des visualisations mises en place avec *Undertracks*.

Néanmoins, un certain nombre de points montre les imprécisions du modèle DISCO, mais aussi la faiblesse des outils pour l'analyse de traces mis en place dans cette première phase de recherche.

Nous pouvons pointer les points suivants :

- le volume relativement faible (155 chemins) de données recueillies au moment de l'analyse a largement facilité le processus d'analyse ;
- cette analyse a été faite par des traitements légers et en grande partie par des humains ;
- les enseignants ont noté la redondance de l'élément O dans l'élément D (O est un sous-graphe de D), il semble donc inutile de préciser cet élément de manière séparée ;
- Ils ont pointé les difficultés à concevoir l'élément D d'un bloc et signaler que cela pouvait décourager les auteurs en l'état.

De fait, il nous faut maintenant améliorer les deux étapes du *meta-design* sur la base de ces premiers travaux.

Pour ce premier cycle de recherche, en considérant le bloc "Produire et analyser des données" du sous-processus "Expérimentation", nous avons choisi d'indiquer les indicateurs du tableau 4.4 correspondant aux deux expérimentations menées. Étant donné ces indicateurs et les résultats obtenus à la suite des expérimentations, nous avons pris la décision de réaliser une seconde itération du cycle de recherche.

	Expérimentation avec l'outil activable DISCO	Expérimentation avec l'outil activable EBE
Nombre de participants	2 enseignants	155 apprenants
Volume de données exploitées	1 entretien	155 chemins dont 139 chemins distincts
Type de données	Qualitatif	Quantitatif (traces d'usage)

Tableau 4.4 – Indicateurs du bloc "Produire et analyser des données" du sous-processus "Expérimentation" de la première itération du modèle.

Chapitre 5

Deuxième Itération : le Modèle DISC

Le contenu de ce chapitre a fait l'objet des publications suivantes :

[**Vermeulen et al., 2017a**] Vermeulen, M., Guigon, G., Mandran, N., and Labat, J.-M. (2017a). L'enseignant au coeur de la conception de learning games : le modèle DISC. In *EIAH 2017 - 8ème Conférence Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*, Strasbourg, France

[**Vermeulen et al., 2017b**] Vermeulen, M., Guigon, G., Mandran, N., and Labat, J.-M. (2017b). Teachers at the heart of the learning games design: the DISC model. In *IEEE ICALT 2017*, Timisoara, Romania

À l'issu des expérimentations menées à l'aide du modèle DISCO, l'usage des *learning games* produits avec ce modèle et des analyses de traces co-réalisées avec les enseignants, nous avons jugé nécessaire de réaliser un nouveau cycle de recherche selon THEDRE. L'évaluation des expérimentations et des différents sous-processus effectués a été faite lors du sous-processus "Contrôle" et a donné lieu à la décision de poursuivre nos travaux (sous-processus "Construction et Décision"). Notre objectif est d'améliorer notre proposition de *meta-design* des *learning games*, et, de fait, nous agissons sur les deux phases de cette approche.

Ce chapitre aborde une seconde proposition quant à la problématique de la conception et de l'usage des *learning games* par les enseignants du supérieur. Les propositions énoncées ici font référence au premier sous-processus "Planification" de la méthode THEDRE décrite au chapitre deux, en particulier du bloc "Concevoir l'instrument à produire par la RICH". Le plan de cette partie reprend les préconisations de THEDRE, en particulier le découpage en sous-processus ("Planification", "Expérimentation", "Contrôle" et in fine "Construction et Décision"). Les expérimentations associées ont été réalisées suivant le diagramme d'orchestration de la figure 5.1.

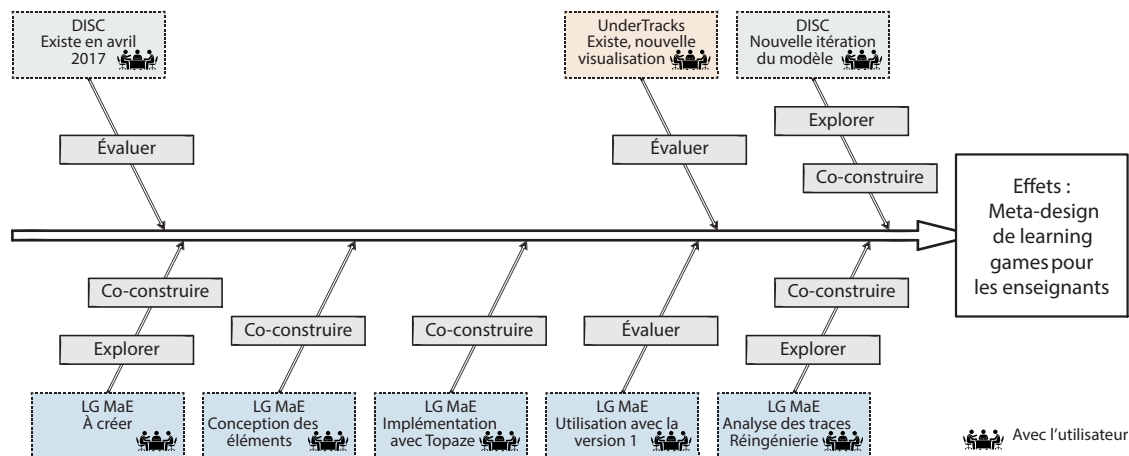


Figure 5.1 – Diagramme d'orchestration des outils activables DISC et du *learning game* "Missions à Emossion".

Dans ce chapitre nous proposons une seconde itération du modèle de *learning game* baptisée DISC (pour Domaine, Interactions, Scénario, Contexte). Une première partie précise les évolutions entre la première itération (DISCO) et la suivante. Nous précisons ici le besoin de formalisme demandé par les enseignants. Puis nous décrivons dans la partie suivante la structure emboîtée du modèle DISC et les éléments constitutifs de celui-ci. Nous poursuivons avec l'expérimentation de ce modèle, son évaluation avec des enseignants au travers de la co-conception d'un *learning game* pour un MOOC en mécanique des fluides. La cinquième partie traite de la réingénierie du jeu après collecte, traitement et analyse des données d'usage du jeu par les enseignants. Dans cette partie nous abordons les sujets de la visualisation des traces par ces derniers et la collecte de données qualitatives auprès des étudiants pour mener l'analyse effective des données recueillies. Enfin, nous donnons un bilan de ces travaux et étudions l'opportunité de réaliser une nouvelle itération du modèle à l'aide des indicateurs de THEDRE produits.

5.1 Du besoin d'un modèle plus formel

À l'issue des expérimentations menées avec le modèle DISCO, nous avons noté l'intérêt des enseignants pour l'élément D , mais aussi la difficulté à définir celui-ci. Certains ont fait remonter le besoin de formalisme du modèle, en particulier pour le modèle du domaine. Par ailleurs, les remarques formulées suite à l'analyse des traces par rapport au besoin de visualiser en priorité les séquences importantes du point de vue des objectifs pédagogiques nous ont incité à structurer davantage le scénario S .

Nous avons alors retravaillé chaque élément de DISCO. La première modification concerne O : puisqu'il s'agit d'un sous-ensemble de D , il nous a paru inutile de spécifier à nouveau les objectifs dans un élément séparé. L'élément D a été structuré tout en conservant les principes du CbKST, qui a été bien compris par les enseignants-auteurs. Nous avons détaillé C en précisant les différents types de contraintes et de contextes à spécifier. I a été conservé en l'état.

Reste l'élément S , largement remanié. Ce dernier a été structuré autour de D et résolument associé au concept des études de cas. Nous proposons de co-construire cet élément en plusieurs étapes pour faciliter le travail des enseignants, mais aussi, nous le verrons plus loin, la réingénierie des *learning games* conçus. Un choix a été fait d'énoncer des propriétés et de proposer un modèle de graphe pour l'étude de cas qui correspond à la brique de base de S .

5.2 Le modèle formel DISC

DISC a été élaboré en tenant compte de l'étude de l'état de l'art, des travaux menés autour du modèle DISCO et de l'expérience accumulée autour de la création de *learning games* en tant qu'ingénieur TICE. Nous reprenons, dans ce modèle, certains aspects de DISCO, telle la définition au préalable des objectifs généraux du *learning game* à concevoir.

Soit L_g un *learning game* conçu selon DISC et D, I, S, C les éléments constitutifs de L_g selon ce modèle (figure 5.2) :

$$L_g = \{D, I, S, C\}$$

Pour des raisons de cohérence didactique, nous présenterons ces éléments dans l'ordre suivant : D le modèle du domaine, S le scénario, I l'ensemble des interactions de L_g et enfin C le contexte d'usage.

Le modèle DISC s'articule autour de trois structures distinctes, gigognes et hiérarchisées (Fig. 5.4).

5.2.1 Construire une hiérarchie d'étapes autour du modèle du domaine D

La notion de modèle de domaine n'est pas aisée à comprendre pour les enseignants, or le recueil de l'expertise des enseignants est un point important dans la conception d'EIAH. Le modèle du domaine ne doit pas forcément être exhaustif : il faut restreindre celui-ci au *learning game* à produire et le définir en fonction du public cible du jeu. De fait,

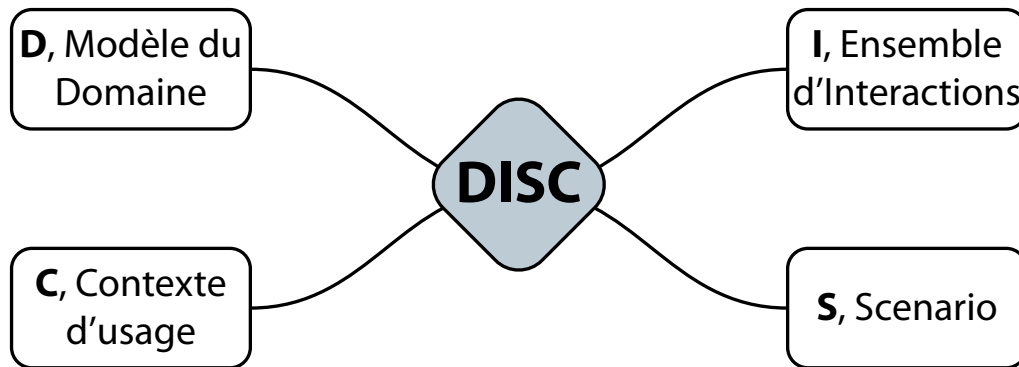


Figure 5.2 – Les éléments constitutifs du modèle DISC.

comme évoqué précédemment avec l'intégration de O dans D , ce modèle du domaine est construit par les enseignants en fonction des objectifs pédagogiques à atteindre.

Nous avons choisi de modéliser le domaine D de L_g sous la forme d'un graphe orienté dont les nœuds sont les compétences du domaine formant un ensemble noté K . Les arcs de ce graphe traduisent les liens de pré-requis entre les compétences du domaine, reprenant ainsi les concepts du CbKST [El-Kechaï et al., 2015] [Reimann et al., 2013]. Notons Pr l'ensemble de ces liens de pré-requis. D est donc le graphe (K, Pr) (figure 5.3).

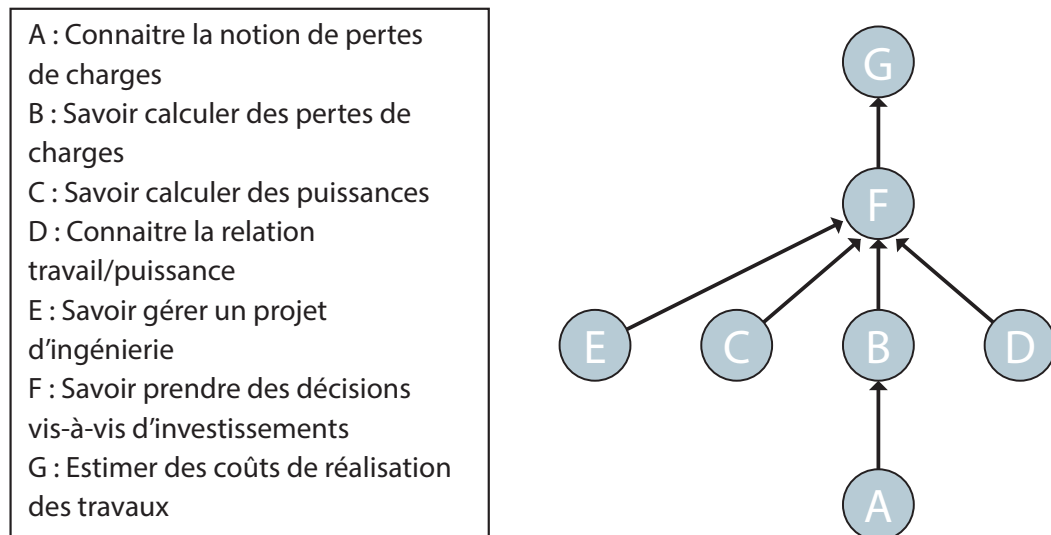


Figure 5.3 – Exemple d'ensemble de compétences et graphe montrant les liens de pré-requis entre ces compétences. Une flèche signifie "est un pré-requis de".

Ainsi, en reprenant un format simple (le graphe) et aisément représentable, les enseignants peuvent construire le modèle du domaine de manière quasi autonome. Pour

autant la tâche reste difficile dans le cas où les compétences sont en grand nombre.

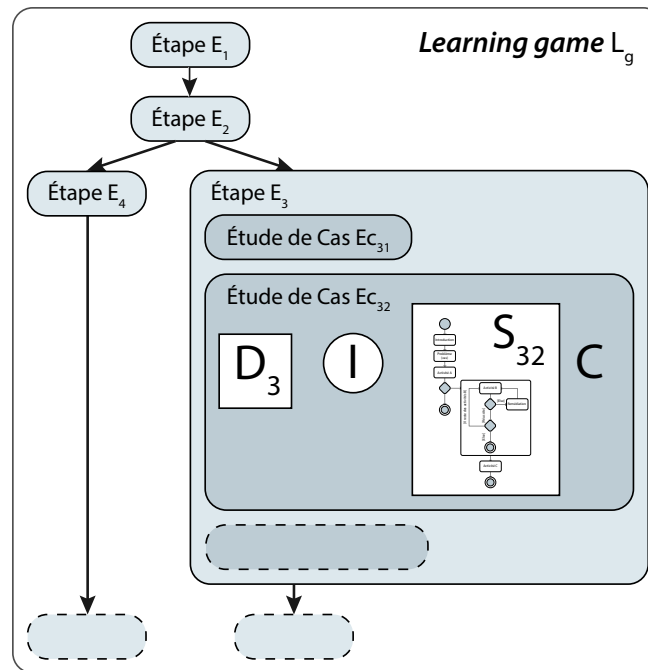


Figure 5.4 – Structure du modèle DISC.

Pour faciliter la construction de D , nous proposons de décomposer le modèle du domaine D en sous-domaines $D_1, D_2, \dots, D_n$. Ce découpage correspond à l'habitude de l'enseignant qui consiste, lors de la construction d'un cours, à découper celui-ci en sous-cours autonomes (chapitres) mais reliés par des liens de pré-requis. Ces sous-domaines sont modélisés par des sous-graphes de D respectivement engendrés par les ensembles de compétences K_i , $K_i \subset K$. Les K_i sont définis par l'enseignant : il définit à la fois les objectifs pédagogiques (l'ensemble des compétences O_i à atteindre pour chaque chapitre) et les pré-requis pour les atteindre (l'ensemble des compétences P_i)¹. Ainsi, les K_i forment des ensembles cohérents de compétences : pour i donné, chaque compétence de K_i est atteignable par un chemin dans le graphe D_i . Autrement dit, pour toute compétence de D_i , l'ensemble des pré-requis de cette compétence sont des nœuds de D_i . Cette décomposition du modèle du domaine selon les différents chapitres facilite la perception de cet élément par les enseignants en rendant l'exercice plus aisé.

Dans le modèle DISC, L_g contient un ensemble structuré d'étapes $E_1, E_2, \dots, E_n$ respectivement associées aux graphes $D_1, D_2, \dots, D_n$, faisant respectivement travailler par les apprenants-joueurs les objectifs pédagogiques définis $O_1, O_2, \dots, O_n$ et ayant respectivement comme pré-requis nécessaires pour réaliser ces étapes $P_1, P_2, \dots, P_n$. Les O_i sont l'ensemble des compétences travaillées au sein de l'étape E_i . Ainsi, pour tout $i \in [1, n]$, D_i est le modèle du domaine de l'étape E_i .

1. De fait, $\forall i \in [1, n], K_i = P_i \cup O_i$.

5.2.2 La construction de S et la décomposition des étapes en études de cas

La composante S de L_g s'exprime de manière différente au sein des trois structures de DISC (figure 5.4). Au premier niveau, S est un graphe orienté dont les nœuds sont les étapes E_i et les liens traduisent les liens de pré-requis entre ces étapes. Remarquons qu'il est possible de représenter cet arbre à l'aide de l'outil MoPPLiq de Marne en prenant les P_i comme états d'entrée et les O_i comme états de sortie des étapes de MoPPLiq. Au second niveau, chaque étape E_i est composée d'un ensemble d'études de cas. Comme évoqué précédemment, des travaux antérieurs ont permis de montrer l'intérêt de la méthode des cas pour la création de *learning games* par les enseignants de l'enseignement supérieur, en particulier suite au projet collaboratif Generic-SG [Marfisi-Schottman et al., 2013]. Ainsi, pour tout $i \in [1, n]$ l'étape E_i contient un ensemble de m études de cas $Ec_{i,1}, \dots, Ec_{i,m}$ ($m \in \mathbb{N}^*$ et m dépend de i). Notons $NbEc$ la fonction qui pour une étape donnée i fait correspondre le nombre d'études de cas de l'étape E_i . On peut écrire, pour n le nombre d'étapes de L_g :

$$\begin{aligned} NbEc : [1..n] &\longrightarrow \mathbb{N}^* \\ i &\longmapsto \text{Nombre d'études de cas dans l'étape } E_i \end{aligned}$$

On peut alors écrire :

$$\forall i \in [1, n], E_i = \{Ec_{i,j}, j \in [1, NbEc(i)]\}$$

L_g peut ainsi être considéré comme l'ensemble des études de cas $Ec_{i,j}$. Les $Ec_{i,j}$ possèdent un ensemble de pré-requis notés $P_{i,j}$ et font travailler par les apprenants-joueurs les objectifs pédagogiques notés $O_{i,j}$. On peut écrire :

$$\forall i \in [1, n], \forall j \in [1, NbEc(i)], O_{i,j} \subset O_i$$

Proposition 1

Nous imposons à l'enseignant que toutes ces études de cas soient indépendantes les unes des autres, ce qui a comme conséquence qu'il n'y a pas de scénario imposé au sein d'une étape, l'apprenant peut résoudre les études de cas dans n'importe quel ordre.

La proposition 1 suppose que pour entrer dans cette étape, l'apprenant maîtrise (est censé maîtriser) tous les pré-requis nécessaires à la résolution de toutes études de cas. Nous reviendrons plus loin sur cette propriété de notre modèle.

Cette décomposition propose aux enseignants de découper la conception en unité de petite taille (les $Ec_{i,j}$), ce qui leur semble plus abordable qu'une conception globale. Par ailleurs, cette structuration facilite l'intervention de plusieurs enseignants-auteurs à condition de respecter le modèle des $Ec_{i,j}$ tel que décrit ci-dessous.

5.2.2.1 Le modèle des études de cas $Ec_{i,j}$

Ainsi, chaque $Ec_{i,j}$ est construite sur le modèle des *user stories* issues des approches agiles et des expérimentations d'adaptation de ces approches à la pédagogie [Vermeulen et al., 2015] [Vermeulen et al., 2017c].

Ainsi elles suivent les qualificatifs contenus dans l'acronyme P.I.S.T.E. pour *Pre-requisites*, *Independent*, *Small*, *Testable*, *Estimable* qui est librement inspiré de l'acronyme I.N.V.E.S.T. [Cohn, 2004] issu des approches agiles :

Prerequisites : Les pré-requis d'une $Ec_{i,j}$, $P_{i,j}$ sont connus des apprenants-joueurs.

Independent : Les $Ec_{i,j}$ peuvent être réalisées dans l'ordre choisi par l'apprenant-joueur indépendamment de celles qu'il a déjà terminées dans l'étape E_i . Ce point essentiel est repris dans la section 5.2.2.2.

Small : Une $Ec_{i,j}$ doit être suffisamment petite (en terme de ressources pour l'apprenant-joueur).

Testable : Une $Ec_{i,j}$ doit pouvoir être testée. Les objectifs pédagogiques $O_{i,j}$ doivent être atteignables dans un temps court.

Estimable : L'apprenant peut initialement estimer les efforts nécessaires pour réaliser une $Ec_{i,j}$.

L'intérêt pour les approches agiles est double dans le modèle DISC. D'une part, elles nous permettent de spécifier les caractéristiques des $Ec_{i,j}$ comme nous l'avons décrit avec l'acronyme P.I.S.T.E. De nombreux outils et méthodes de ce paradigme issu de la gestion de projet en informatique ont déjà été mis en avant dans les méthodes de conception de jeux vidéos et de *serious games* [Marne, 2014].

5.2.2.2 Indépendance des $Ec_{i,j}$ et type d'étude de cas

La proposition 1, l'indépendance des $Ec_{i,j}$, est une propriété essentielle du modèle DISC. Elle apporte un élément ludique à l'apprenant en lui donnant une liberté vis-à-vis de l'aspect narratif du scénario global : il peut construire sa propre histoire en suivant l'étude de cas qu'il souhaite au sein d'une étape E_i . De plus, elle garantit la possibilité d'ajouter une étude de cas à L_g sans créer d'effet de bord indésirable (sous la condition 5.1 donnée ci-dessous). Cet ajout peut se faire a posteriori de la conception initiale par un enseignant autre que l'auteur initial de L_g , et facilite ainsi la réingénierie du *learning game*. Pour qu'il y ait indépendance des $Ec_{i,j}$, il ne doit y avoir aucune relation de précédence et/ou de pré-requis entre deux $Ec_{i,j}$ données. Il nous faut vérifier l'assertion 5.1.

$$\forall i \in [1, n], \forall j \in [1, NbEc(i)], P_{i,j} \subset P_i \quad (5.1)$$

Autrement dit, pour toute étude cas $Ec_{i,j}$ de E_i , les pré-requis de $Ec_{i,j}$ sont des pré-requis de l'étape E_i . Ainsi, quand 5.1 est vérifiée, il est inutile de redéfinir les pré-requis pour chaque étude de cas, puisque par hypothèse nous considérons que pour rentrer dans une étape, le joueur doit posséder tous les pré-requis pour réaliser n'importe quelle étude de cas de cette étape.

En dialoguant avec les enseignants, nous avons pris conscience qu'ils distinguent deux types d'études de cas $Ec_{i,j}$ en fonction des pré-requis et des objectifs de celles-ci.

Le Premier type dit "étude de cas d'acquisition" (type 1) est caractérisé par un ensemble $O_{i,j}$ de compétences atteignables en un pas à partir de l'ensemble $P_{i,j}$ dans le graphe D_i .

Le second type dit “étude de cas de révision” (type 2) propose à l'apprenant-joueur de vérifier et de stabiliser un ensemble d'acquis.

Pour les études de cas de type 1, les objectifs de l'étude de cas sont à un pas d'inférence des pré-requis de celle-ci. Dans le cas d'une étude de cas $Ec_{i,j}$ de type 2, celle-ci peut demander plusieurs pas de raisonnement [Vygotsky, 1980].

5.2.2.3 Un scénario des $Ec_{i,j}$ intégrant des activités

Au troisième niveau de notre modèle (figure 5.4), les $Ec_{i,j}$ s'articulent autour d'un scénario décrit par les enseignants et noté $S_{i,j}$. $S_{i,j}$ peut être considéré comme un graphe orienté dont les nœuds sont les activités à faire par l'apprenant et les arcs traduisent les enchaînements de ces activités choisis par les enseignants. Les activités sont généralement de difficulté croissante au fur et à mesure de l'avancée dans le graphe de scénario. Du point de vue de l'apprenant, une activité donnée (un nœud dans le graphe de scénario) est déterminée par ses choix et ses actions dans les activités précédentes [Marne, 2014] [Vermeulen et al., 2016a]. Les enseignants définissent ainsi un scénario prédictif comme une description a priori du déroulement de la situation de jeu [Pernin and Lejeune, 2004]. Les $S_{i,j}$ suivent un modèle de graphe que nous avons choisi de représenter avec le langage UML² comme un diagramme d'activités (Figure 5.5). Les $S_{i,j}$ contiennent plusieurs activités ordonnées en fonction de leur difficulté théorique suggérée par l'enseignant. La première activité mobilise les pré-requis de l'étude de cas $Ec_{i,j}$: en cas d'échec de l'apprenant à cette activité, il sort de l'étude de cas. Les suivantes font travailler des compétences incluses dans les $O_{i,j}$ et proposent en cas d'échec une remédiation et un nouvel essai. La dernière, plus complexe, clôt $Ec_{i,j}$ (l'apprenant sort avec un succès ou un échec). Pour chaque activité, les résultats sont enregistrés et contribuent au résultat global de l'apprenant au *learning game* (via un score, des badges, etc.).

Proposition 2

Cette structure des études de cas est modulaire : elle permet l'ajout d'activités par les enseignants soit à la conception, soit lors des phases de réingénierie.

Le modèle DISC apporte ainsi une souplesse dans la construction du scénario des $Ec_{i,j}$ y compris dans le cas où plusieurs auteurs travaillent en collaboration. Il est ainsi plus aisé d'ajouter une activité lors de la réingénierie du jeu suite à l'analyse des traces d'usage des apprenants.

5.2.3 I, les activités et interactions

Les activités peuvent être de différents types. Certaines mènent l'apprenant à opérer des choix ou à donner des résultats ou des informations, par exemple au travers de questions. Les activités sont placées dans quatre catégories reprenant les travaux de Carvalho [Carvalho et al., 2015] autour du modèle ATMSG (*Activity Theory-based Model for Serious Games*) :

ludique (gaming) : cette catégorie regroupe les activités en lien avec la notion de jeu (par exemple “récupérer un badge”).

2. Acronyme pour *Unified Modeling Language*

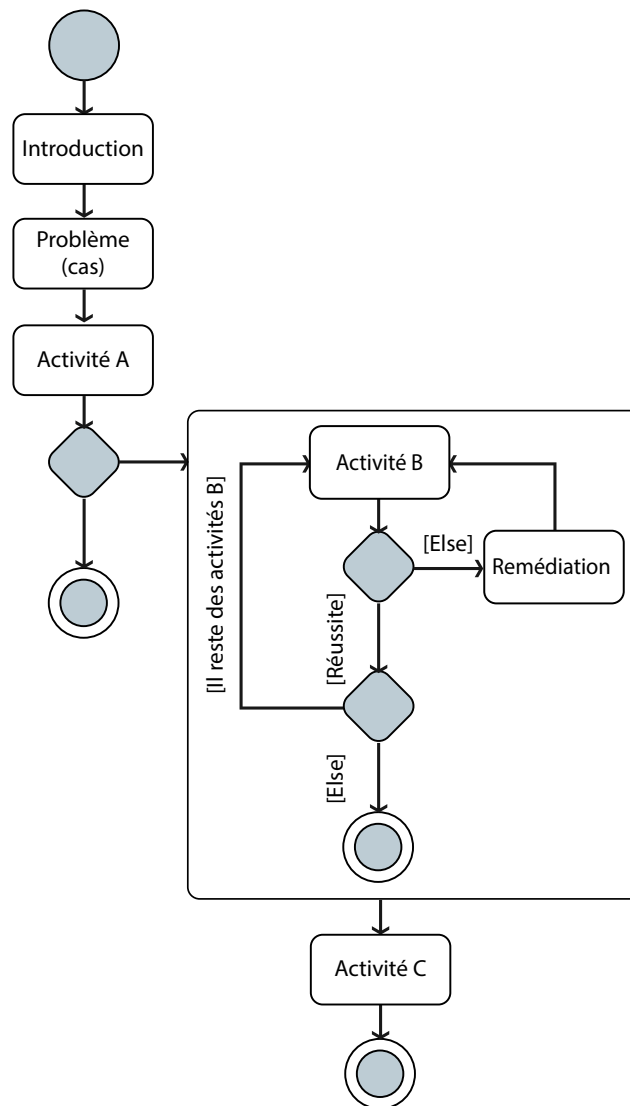


Figure 5.5 – Modèle de graphe des $S_{i,j}$ sous forme de diagramme d'activités (UML).

d'apprentissage (*learning*) : les activités de cette catégorie permettent de travailler ou de vérifier des compétences placées du point de vue de l'apprenant-joueur ("réaliser un quiz").

pédagogique (*instructional*) intrinsèque : les activités de cette catégorie permettent de travailler ou de vérifier des compétences mais sont placées du point de vue de l'enseignant et sont intrinsèques au jeu ("donner un *feedback* automatique").

pédagogique extrinsèque : les activités de cette catégorie permettent de travailler ou de vérifier des compétences mais sont placées du point de vue de l'enseignant et sont extrinsèques au jeu ("communication entre apprenants sur le contenu du *learning game* via un forum").

Carvalho propose une décomposition de ces activités en actions portées par des outils (*tools*) et ayant un objectif spécifique (*goal*) associés aux catégories ci-dessus. Nous avons repris les taxonomies proposées par le modèle ATMSG largement inspirées par la littérature (telle la taxonomie de Bloom pour les objectifs pédagogiques [Anderson et al., 2001]). Par exemple, nous proposons une traduction de la taxonomie proposée par Carvalho pour les actions ludiques (tableau 5.1) utilisée, entre autres, pour définir l'élément *I*.

Catégorie	
Manipulation	Capter, Collecter, Créer, Personnaliser, Concevoir, Détruire, Éditer, Éliminer, Échanger, Générer, Gérer des ressources, Manipuler la gravité (Physique), Rencontrer, Posséder, Planifier/Stratégie, Supprimer, Sélectionner, Manœuvrer tactiquement, Commercer des objets virtuels
Mouvement	Éviter, Entrer en collision, Bouger, S'évader, Tourner, Tirer, Cibler, Se téléporter, Traverser, Visiter
Temporalité	Manipuler le temps, démarrer/arrêter le temps
Information	Poser une question, répondre à une question, Obtenir de l'aide, Visualiser l'évaluation de sa performance, Voir/Écouter/Lire des informations, Voir/Écouter/Lire une histoire

Tableau 5.1 – Taxonomie des actions associées aux activités ludiques d'après [Carvalho et al., 2015].

Les activités d'apprentissage et pédagogiques sont prises en compte pour l'évaluation au travers de la mise en place de score. Généralement, nous préconisons deux types de scores :

- un nombre de points de vie non nul au démarrage du jeu, qui sanctionne les erreurs graves d'un point de vue pédagogique (si ce nombre de points de vie devient nul, l'apprenant sort du jeu avec un *game over*) ;
- un score en points nul au démarrage du jeu, qui détermine la performance de l'apprenant tout au long du jeu.

La réussite des apprenants aux différentes activités et plus globalement aux études de cas (selon des critères établis par les enseignants) peut donner lieu à l'obtention de récompenses d'ordre ludiques (badges, objets, bonus tel des anecdotes, figure 5.6) ou pédagogiques (bonus de points de vie, augmentation du score). Ces récompenses sont



Figure 5.6 – Exemple de bonus disponibles : un bonus vers un contenu additionnel, un bonus au score en point, un badge certifiant la réussite de l'étape en cours.

généralement proposées par l'ingénieur pédagogique et choisies par l'enseignant.

L'ensemble I des interactions disponibles entre l'apprenant et le modèle du domaine est défini par l'ingénieur pédagogique et proposé à l'enseignant. Chaque activité est associée par ce dernier à une ou plusieurs interactions disponibles dans l'ensemble I . Comme évoqué précédemment, nous avons utilisé les taxonomies d'actions proposées par Carvalho, assurant ainsi un large panel de possibilités pour les enseignants.

5.2.4 C , Le contexte d'usage de L_g

Le Contexte d'usage C explicite les usages de L_g et les contraintes associées à celui-ci. Nous indiquons par exemple ici l'environnement dans lequel les apprenants-joueurs se trouvent lors de l'utilisation de L_g . Formellement C est défini comme le quadruplet $C = (Institutionnel, Spatial, Temporel, Matériel)$, avec :

Institutionnel contient l'ensemble des contraintes propres au contexte institutionnel : type de cursus, type de formation, etc.

Spatial regroupe les contraintes de l'environnement spatial relatif aux usages de L_g : salle de classe, extérieur, etc.

Temporel reprend les éléments relatifs au temps : durée, fréquence d'usage, etc.

Matériel contient les contraintes matérielles : type de support, interface, etc.

Plus précisément, l'élément C donne une description du cadre pédagogique dans laquelle le *learning game* prend place et s'intègre. Il est défini par l'enseignant seul et tient compte des objectifs généraux du jeu définis au tout début de la phase de conception.

5.2.5 Méthode associée au modèle DISC

Comme dans le modèle DISCO, les éléments sont co-conçus par le ou les enseignants-auteurs du *learning game*. Ces derniers sont présents dans toutes les phases de la conception (figure 5.7). Dans nos expérimentations, il est accompagné d'un ingénieur pédagogique qui facilite la production des documents relatifs aux éléments de DISC et prend en charge la phase de production du jeu.

La méthode associée à DISC est itérative. À l'issue de la co-conception d'un *learning game*, de son utilisation et d'une phase d'analyse des traces d'usage, une phase de réingénierie est opérée par les enseignants (auteurs et/ou utilisateurs). Le processus reprend en grande partie les phases de la méthode associée à DISCO (ainsi que les liens

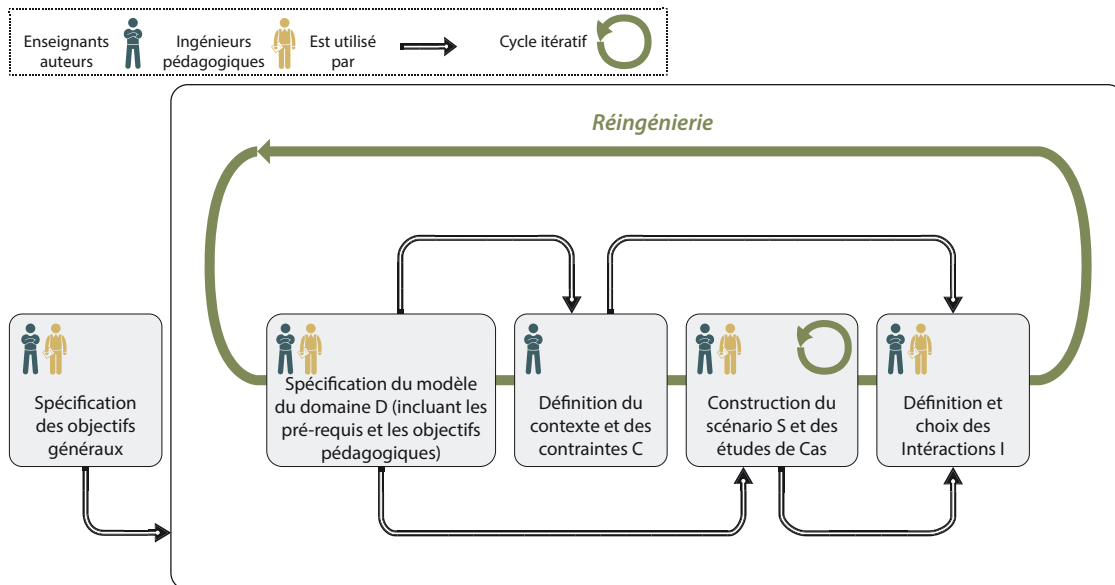


Figure 5.7 – Méthode associée au modèle DISC.

entre celles-ci) : spécification des objectifs généraux, spécification de D , définition de C , co-construction de S , définition et choix de I (figure 5.7).

Nous indiquons pour chaque éléments du modèle DISC et chaque structure (L_g , étapes, études de cas et activités) les actions à réaliser par les concepteurs du *learning game* (tableau 5.2). L'ingénieur pédagogique accompagne les enseignants auteurs pour chaque structure du jeu.

5.2.6 Passation du modèle

Plusieurs passations avec les enseignants ont été réalisées entre avril 2016 et juin 2016 lors d'entretiens semi-directifs. Ces enseignants sont en charge de différents cours dans différentes écoles d'ingénieurs. Ils avaient l'objectif de réaliser des *learning games* en vue de permettre aux étudiants de manipuler des compétences propres à chaque discipline. Le modèle a été présenté au travers de documents, repris dans ce manuscrit, présentant les éléments et la structure de DISC. Nous avons explicité la méthode associée (figure 5.7), les documents attendus à produire et les outils utilisés (tel les outils de carte mentale).

L'un des enseignants, en charge de l'enseignement de la mécanique des fluides, a souhaité travailler avec ce modèle suite à l'entretien d'avril 2016. Nous reviendrons sur le profil de cet enseignant dans la partie traitant de l'expérimentation. Lors d'un entretien semi-directif, cet enseignant a précisé le type de traces à recueillir afin d'analyser les parcours des apprenants et, le cas échéant, de réaliser une réingénierie du jeu. Nous lui avons présenté les travaux menés avec le jeu EBE. Il a souhaité reprendre les travaux réalisés, avec quelques précisions et en ajoutant un cinquième type d'informations :

- les scores finaux des apprenants mais aussi le nombre de points de vie en fin de jeu ;

	<i>Learning game</i> L_g	Étapes E_i	Études de cas $Ec_{i,j}$	Activités
<i>D</i>	Enseignants (définir), ingénieur pédagogique (accompagner)	Enseignants (définir), ingénieur pédagogique (accompagner)		
<i>I</i>				Enseignants (choisir), ingénieur pédagogique (proposer)
<i>S</i>	Enseignants (définir), ingénieur pédagogique (accompagner)	Enseignants (définir), ingénieur pédagogique (accompagner)	Enseignants (définir), ingénieur pédagogique (accompagner)	Enseignants (définir), ingénieur pédagogique (accompagner)
<i>C</i>	Enseignants (définir)			Enseignants (définir)

Tableau 5.2 – Acteurs et actions réalisées pour un *learning game* L_g avec le modèle DISC pour chaque élément et structure.

- les pas visités ordonnés chronologiquement, ce qui permet de déduire le chemin des apprenants au sein du scénario S ;
- le temps total passé sur le jeu ;
- le temps passé pour chaque pas ;
- le nombre de parties réalisées par chaque apprenant.

En parallèle, il a souhaité mettre en place un questionnaire d'évaluation du *learning game* immédiatement après l'utilisation de celui-ci (disponible dans l'Annexe E) . Ce questionnaire doit permettre d'obtenir des données d'ordre qualitatif sur le jeu et sur le profil des apprenants. Nous avons proposé l'ajout de questions relatives au modèle (intérêt des études de cas, progression, durée du jeu, difficulté). Les réponses obtenues doit permettre, à l'instar des traces qualitatives obtenues de manière automatique, la réingénierie du *learning game*.

Au travers de ce questionnaire, l'enseignant souhaite par ailleurs évaluer les aspects motivationnels autour du jeu. Bien que l'intérêt de cette démarche soit légitime, nous n'analysons pas dans ce manuscrit les résultats sur ces aspects.

Nous reviendrons sur le recueil de traces des apprenants et sur les résultats obtenus à l'aide du questionnaire lors de la présentation de l'expérimentation.

5.3 Seconde Expérimentation : le *Learning Game* “Missions à Emosson”

L'enseignant-auteur a conçu le *learning game* “Missions à Emosson” (MaE) comme une activité du MOOC “Introduction à la mécanique des fluides”. Il souhaitait apporter aux apprenants une activité basée sur une situation réelle mobilisant et faisant travailler les compétences vues lors du MOOC. Ce dernier sert de support aux travaux dirigés

réalisés en présentiel par les étudiants d'IMT Lille Douai (formation ingénieur généraliste, niveau L3) et aux étudiants de l'ESTP³ (formation ingénieur, niveau L3). Ce *learning game* se situe dans le complexe hydroélectrique d'Eposson en Suisse non loin du massif du Mont Blanc. L'apprenant-joueur devra vivre le quotidien d'un ingénieur mécanicien des fluides en poste à Eposson S.A. et résoudre les problèmes et situations qui lui seront proposés. "Missions à Eposson"⁴ (Figure 5.8) a été intégré au MOOC lors de

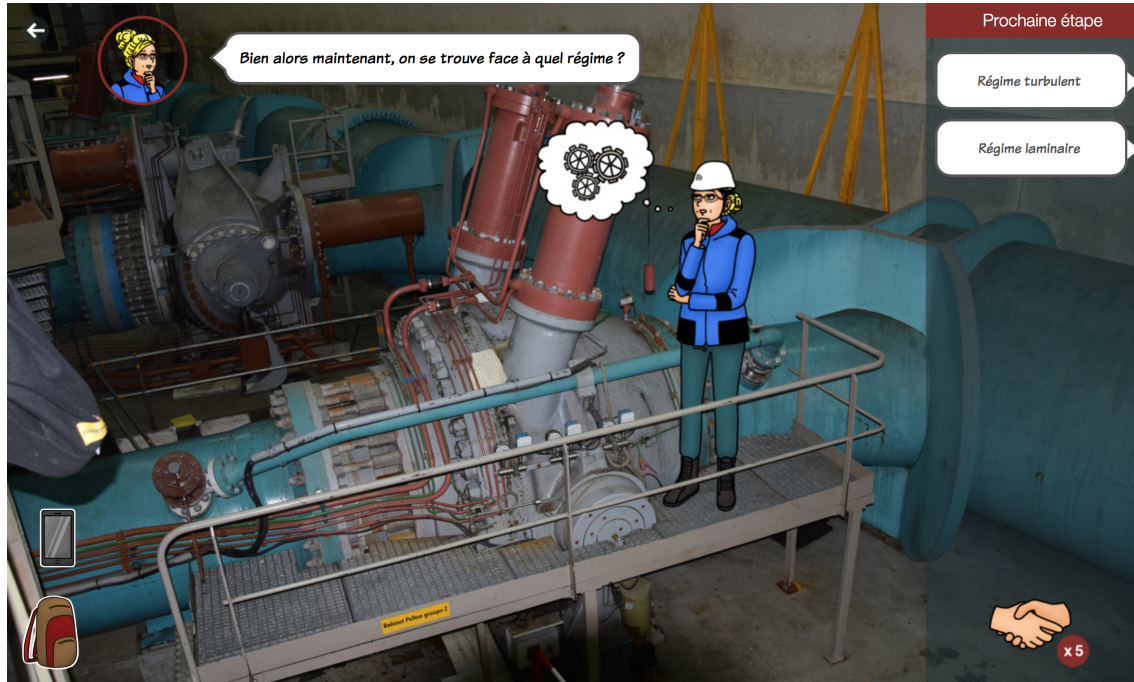


Figure 5.8 – Capture d'écran du *learning game* "Missions à Eposson".

sa deuxième session de septembre à novembre 2016 sur six semaines : deux semaines de travail suivies d'une semaine d'évaluation, puis deux semaines de travail et une semaine d'évaluation finale.

5.3.1 Définition du Modèle de domaine, des objectifs et du contexte

La conception de MaE a débuté en juin 2016. Une présentation du modèle DISC a été réalisée sous forme d'un entretien avec l'enseignant initiateur du projet. Cet entretien a permis de spécifier les livrables issus du modèle DISC attendus pour réaliser le *learning game*. À la suite de cet entretien, l'enseignant a conçu le graphe du modèle du domaine D . Avec le soutien d'un ingénieur pédagogique, nous avons construit ce graphe autour de quatre étapes E_1 , E_2 , E_3 et E_4 . Chacune est associée, sur le plan des compétences à acquérir, à un des quatre chapitres du MOOC correspondant aux quatre semaines de travail (figure 5.9). Par exemple, E_2 a les mêmes pré-requis et objectifs que le chapitre

3. École Spéciale des Travaux Public

4. http://lesecsper.mines-douai.fr/ECSPEr_MaE/index.html

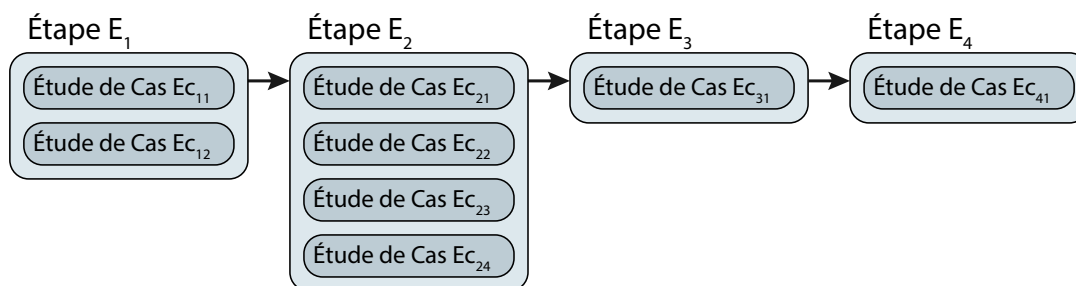


Figure 5.9 – Étapes et études de cas du *learning game* “Missions à Emosson”.

“Dynamique des fluides réels”. Ce dernier point rend l'exercice aisé pour l'enseignant-auteur et facilite la compréhension du concept (Ce constat a été fait par l'enseignant auteur lors de l'entretien réalisé suite au déploiement du jeu et décrit dans la partie 5.4). De fait, il a été alors très simple de définir les pré-requis P_i et les objectifs pédagogiques O_i de chaque étape. Voyons un exemple illustrant cet aspect : l'étape E_2 est basée sur le domaine D_2 contenant 14 compétences (dont neuf pré-requis) et 18 liens entre elles (figure 5.10). E_2 contient quatre études de cas indépendantes. Étant donné les objectifs

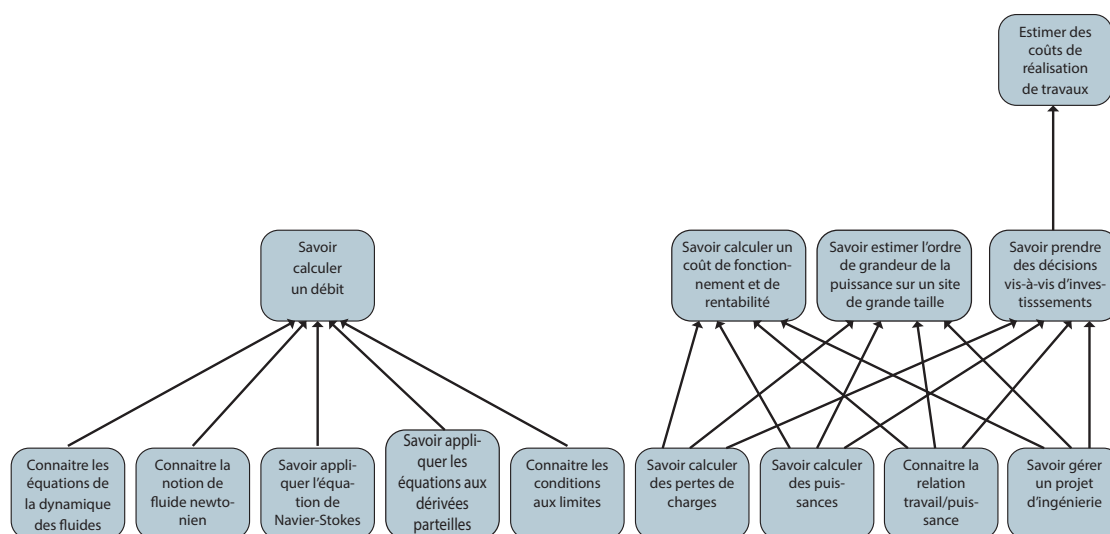


Figure 5.10 – Extrait du graphe D de “Missions à Emosson” : le graphe D_2 sur lequel est basé E_2 .

généraux du *learning game*, la plupart des études de cas sont du type 2 : nous sommes dans le cas où les études de cas vérifient et stabilisent les compétences vues en amont du jeu lors du MOOC (partie 5.2.2.2).

Une fois les étapes définies et hiérarchisées, la définition des $Ec_{i,j}$ a suivi. Les pré-requis et objectifs étant définis pour chaque étape, l'enseignant a construit les études de cas en respectant l'acronyme P.I.S.T.E. (partie 5.2.2.1) à partir de situations réelles, des pré-requis P_i et des objectifs O_i . Huit études de cas ont ainsi été conçues (figure 5.9). Le

contexte C a été spécifié en parallèle : l'activité est intégrée à un *MOOC* grand public, suivi en parallèle par des étudiants de trois écoles d'ingénieur.

5.3.2 Conception du scénario et choix des interactions

Le modèle des études de cas a permis la création de huit missions (qui correspondent chacune à une étude de cas) correspondant aux quatre étapes (deux missions pour E_1 , quatre pour E_2 , une pour E_3 et une pour E_4) (figure 5.9). L'enseignant a proposé ces étapes en fonction du découpage en chapitre utilisé dans son cours. Cette hiérarchie des étapes a été construite lors de la conception du modèle du domaine D . Une étape E_i est accessible si l'apprenant possède les pré-requis P_i de E_i . Les compétences de P_i sont travaillées dans une étape E_j précédente (i.e. $j < i$).

D'après l'enseignant, le graphe type des $S_{i,j}$ (figure 5.5) a rendu la création des scénarios des $Ec_{i,j}$ aisée et le travail de conception efficace (un exemple de scénario co-construit par l'enseignant et l'ingénieur pédagogique est consultable en Annexe C). L'enseignant a été partiellement autonome sur cette phase, un appui sporadique de l'ingénieur pédagogique a été nécessaire pour intégrer des éléments ludiques. Les interactions ont été choisies par l'enseignant en fonction du scénario des études de cas et des objectifs de chacune d'entre elles.

Une première réalisation a permis de spécifier ces interactions ou de les modifier avec l'enseignant. Le *learning game* a été réalisé avec la chaîne éditoriale Scenari et le modèle Topaze (à l'instar du *learning game* EBE). Topaze est adaptable au modèle DISC et en particulier au modèle des $S_{i,j}$. La conception et le développement ont été étalés sur quatre mois et ont mobilisé quatre personnes : un enseignant, un ingénieur pédagogique et technique, une dessinatrice et un chercheur méthodologue.

5.4 Évaluation du modèle DISC

Nous avons organisé un entretien semi-directif avec l'enseignant auteur du *learning game* immédiatement après cette première expérimentation sur la base d'un guide d'entretien (entretien mené le 28 novembre 2016). Il s'agit d'un professeur de physique de 60 ans, peu à l'aise avec les outils informatique, sensibilisé aux questions de pédagogie mais novice en matière de *learning game*. Plusieurs éléments notoires sont ressortis de cette rencontre.

L'enseignant a pointé les difficultés à définir le modèle du domaine a priori. Il pointe l'intérêt du fractionnement de cet élément et le rapprochement fait avec les chapitres du *MOOC* :

[...] j'ai associé les étapes avec les différents chapitres de cours, ce qui a facilité la création de celles-ci. Cela a aussi facilité la mise en place d'une progression adaptée dans la difficulté des étapes. [...]

De plus, la notion d'étape lui semble intéressante pour la création des études de cas intégrant une progression au fur et à mesure de l'avancée dans le *learning game*. Le passage des exercices classiques de mécanique des fluides (avec application de connaissances) aux études de cas mobilisant des compétences a été délicat mais revient à passer à une pédagogie par projet. La création des scénarios des études de cas a été facilitée

par la présence de l'ingénieur pédagogique (ce point a été rappelé de nombreuses fois) et par l'usage du modèle de scénario avec les différents types d'activités. D'après l'enseignant, l'indépendance des missions (études de cas) a grandement facilité la conception de ces dernières en isolant les scénarios les uns des autres. De nouvelles missions sont d'ailleurs en gestation (en particulier pour les étapes E_3 et E_4). Enfin la définition claire des missions de l'enseignant dans la conception a été appréciée :

[...] Je savais ce que j'avais à faire, en particulier les documents à produire pour chaque élément [...] mais la collaboration avec Gaëlle [l'ingénieure pédagogique] était indispensable tout au long de la conception. [...]

Cette première évaluation est donc globalement positive. Pour autant, d'autres tests doivent être conduits pour valider ces premiers résultats avec d'autres enseignants.

5.5 Analyse de traces pour la réingénierie des *Learning Games*

Comme pour le modèle DISCO, DISC doit permettre la réingénierie des *learning games* produits. Outre la structure du modèle, nous avons revu la visualisation des traces d'usage des étudiants et mis en place un questionnaire d'évaluation pour recueillir des informations complémentaires auprès des étudiants. Une première utilisation du jeu a eu lieu lors de la seconde session du MOOC "Introduction à la mécanique des fluides" en septembre 2016. Néanmoins, de nombreux soucis d'ordre technique n'ont pas permis de recueillir des traces fiables et exploitables. Une seconde expérimentation a pu avoir lieu auprès d'étudiants d'école d'ingénieur au printemps 2017 et a permis une réingénierie du jeu pour une nouvelle session du MOOC en septembre 2017.

5.5.1 Visualisation des traces pour les enseignants

À l'instar des traces recueillies pour le *learning game* EBE et les expérimentations autour du modèle DISCO, les retours d'usage sont des fichiers de données et de logs qui décrivent le chemin pris par les étudiants au travers des graphes de scénario (entre autres). Un premier objectif reste identique : analyser avec les enseignants (auteur et utilisateurs) ces données dans le but de comparer le chemin attendu par les enseignants et le chemin pris par les étudiants. Ce chemin reprend la structure du *learning game* conçu avec DISC, permettant ainsi d'analyser le chemin de l'étudiant au sein des études de cas $EC_{i,j}$, mais aussi à l'échelle des étapes (figure. 5.11). Un second objectif est de repérer le comportement global des étudiants au sein de l'activité dans laquelle le jeu prend place. Il s'agit, au travers de ces deux objectifs, d'évaluer la difficulté du *learning game* et les potentiels points de blocage pour les étudiants au sein de MaE.

Le recueil des traces a été mené au printemps 2017 et a permis l'obtention d'un échantillon de 872 chemins distincts pour les 609 étudiants uniques de l'ESTP ayant utilisé le *learning game* "Missions à Emosson". Il s'agit de données de type quantitatif : temps passé sur chaque pas, pas visités par les étudiants ordonnés chronologiquement, score final. Étant donné le nombre important d'activités nécessaires pour réaliser le jeu, une analyse manuelle par les enseignants telle que menée pour EBE semblait trop complexe et demandait trop d'efforts et de temps.

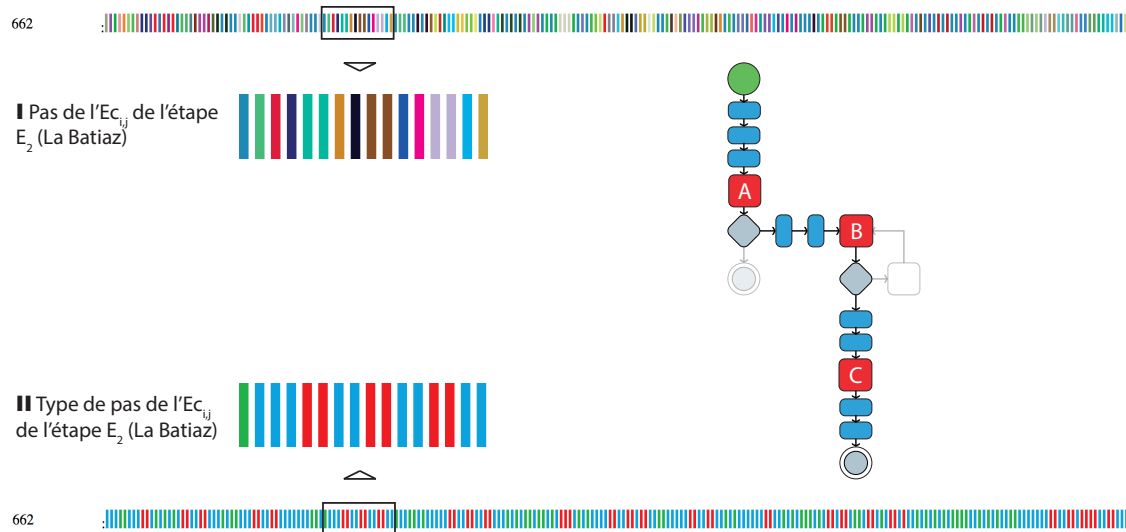


Figure 5.11 – Visualisations avec *Undertracks* du chemin de l'étudiant 662 avec focus sur l'étude de cas "La Batiaz" et du scénario associé.

Ainsi, pour faciliter le travail des enseignants nous avons opté pour deux types de visualisations, toutes deux réalisées à l'aide de la plate-forme *Undertracks* [Mandran et al., 2015]. La première donne une visualisation des pas ordonnés chronologiquement, une couleur donnée étant associée à un pas unique (Figure 5.11, I en haut) ⁵. La seconde affiche les mêmes pas dans le même ordre, mais la couleur correspond au type de pas (Figure 5.11, II en bas) :

- en vert** , le pas correspondant au choix de la mission dans une étape donnée (pas de navigation, figure 5.12) ;
- en bleu** , les pas expositifs (introduction, exposé du cas dans les $S_{i,j}$, pas narratifs ou de contenu le cas échéant, figure 5.13) ;
- en rouge** , les pas correspondant aux interactions dans les activités des $S_{i,j}$ (de type A, B ou C, figure 5.14).

Ces visualisations ont été mises en relation avec les données brutes : temps passé global, temps pour chaque pas et score final. Ces éléments ont été proposés aux enseignants lors d'un entretien afin de recueillir leurs propres éléments d'analyse.

5.5.2 Évaluation du *learning games* MaE par les étudiants

En parallèle de ces travaux sur les données quantitatives, nous avons réalisé un questionnaire d'évaluation du *learning game* (Annexe E). Celui-ci a été diffusé auprès des 609 étudiants de l'ESTP en avril 2017, avec un taux de réponse de 99,1% (le questionnaire était obligatoire et non anonyme). Nous avons obtenu 583 réponses exploitables (en raison de soucis de connexions, certaines réponses au questionnaire n'ont pu être

5. Dans la figure 5.11, nous pouvons observer que certains pas sont présents deux fois. Ceci est dû à l'outil utilisé pour implémenter le jeu (Scenari et le modèle Topaze) et au *plugin* permettant le recueil des traces.

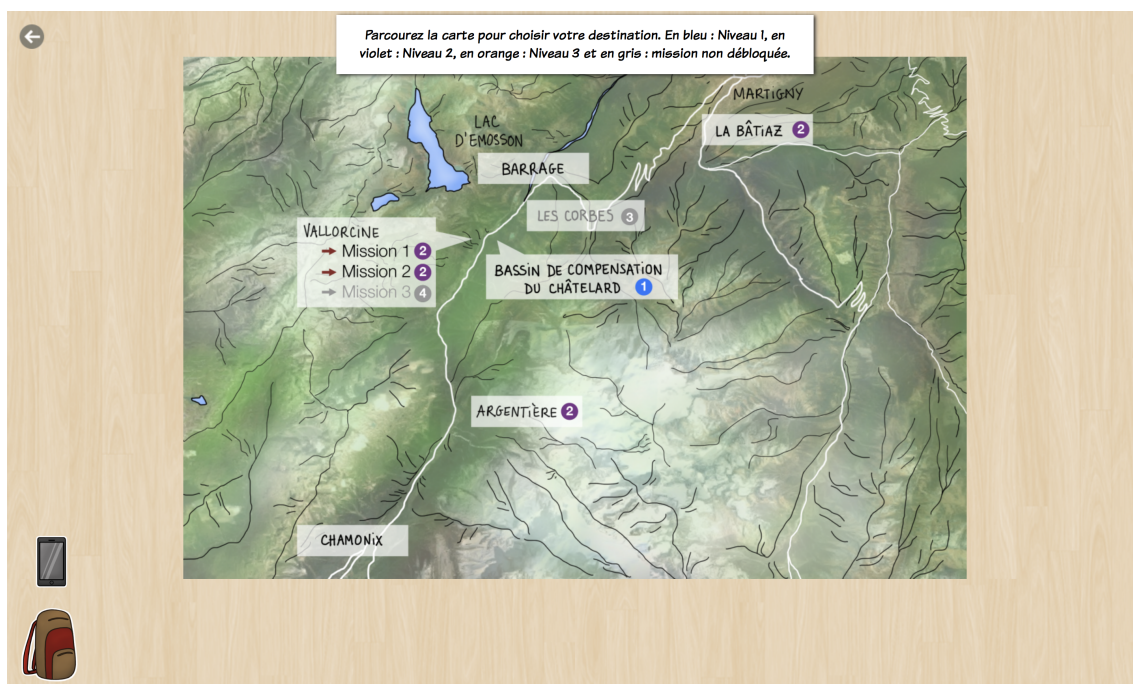


Figure 5.12 – Exemple d'un écran de MaE correspondant à un pas de navigation (en vert dans la seconde visualisation).

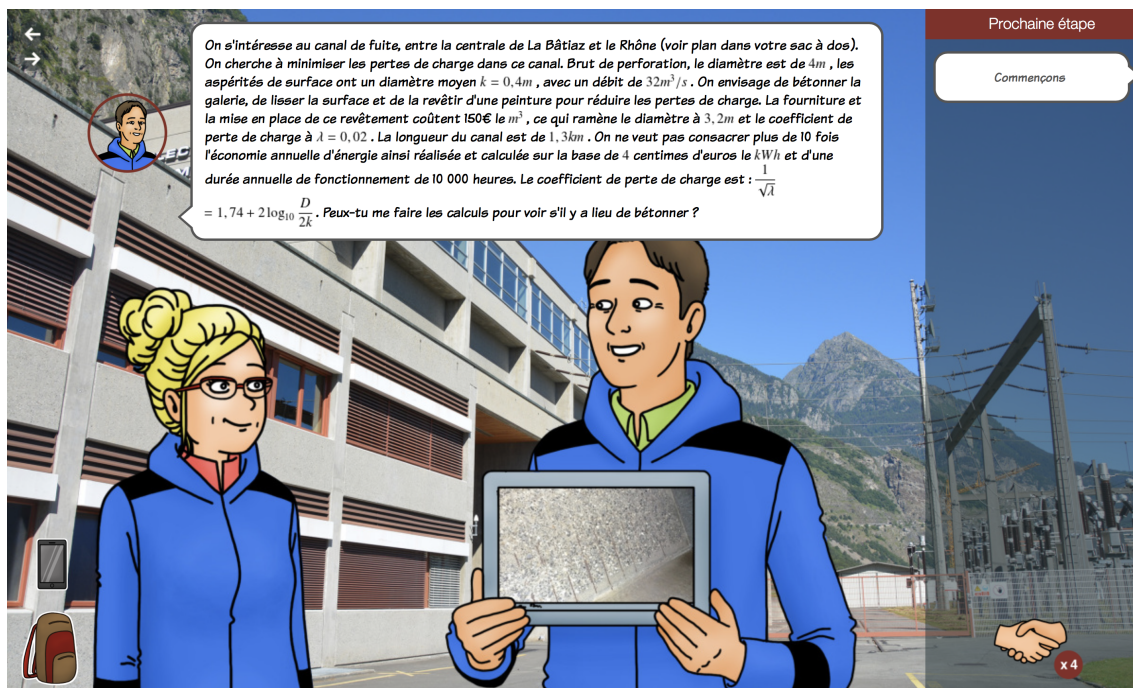


Figure 5.13 – Exemple d'un écran de MaE correspondant à un pas expositif (en bleu dans la seconde visualisation).

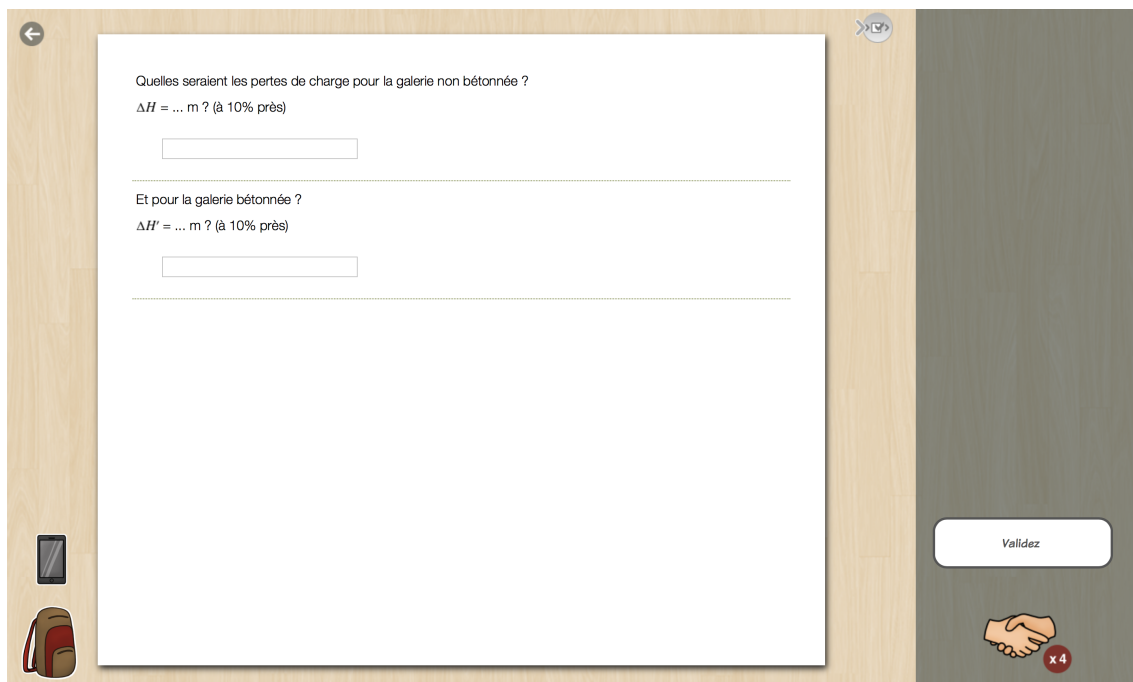


Figure 5.14 – Exemple d'un écran de MaE correspondant à un pas d'interactions (en rouge dans la seconde visualisation).

recueillies). Les résultats présentés dans cette partie sont relatives au modèle DISC et aux éléments que les enseignants (auteur et utilisateurs) ont jugés pertinents pour la réingénierie du jeu.

Une question porte sur l'intérêt du découpage du jeu en plusieurs étude de cas (nous rappelons que les études de cas ont été baptisées missions pour le jeu MaE). Nous pouvons constater un fort intérêt des étudiants sondés sur ce point, 72,8% des étudiants ayant noté que ce découpage les a aidés à terminer le jeu (tableau 5.3). Si nous nous

	Oui	Partiellement	Non
Le découpage du jeu en missions vous a-t-il aidé à terminer le jeu ?	72,8%	19,4%	7,7%

Tableau 5.3 – Intérêt du découpage en étude de cas d'après les 583 réponses exploitables des étudiants de l'ESTP.

restreignons aux étudiants ayant apprécié le jeu MaE (61% des étudiants déclare avoir aimé jouer à ce jeu), cet intérêt monte même à 81,7% (tableau 5.4). Un étudiant donne un avantage au découpage en étapes et en missions, tout en regrettant que l'accès à celles-ci ne soit pas libre :

Le fait d'avoir découpé le jeu en plusieurs étapes/missions permet d'aborder chaque partie de la matière sans que tout se mélange. [... Je n'ai pas aimé le] fait que des missions soient bloquées, et que l'on soit obligé de terminer telle ou telle mission pour pouvoir y accéder, [...]

	Oui	Partiellement	Non
Le découpage du jeu en missions vous a-t-il aidé à terminer le jeu ?	81,7%	14,0%	4,3%

Tableau 5.4 – Intérêt du découpage en étude de cas d'après les 291 étudiants de l'ESTP ayant déclaré avoir aimé le jeu MaE.

Un autre a apprécié la situation suggérée (un cas réel) et la cohérence et progression dans la succession d'étapes et d'études de cas.

J'ai beaucoup aimé le fait que ce sont des missions et qu'il y ait une réelle progression ainsi qu'une cohérence [entre elles]. En effet, il y a une suite logique dans ce jeu et, qui plus est, il permet de mieux comprendre ce que nous avons pu voir en cours. J'ai beaucoup plus appris en adaptant mes connaissances sur des cas réels que de lire des cours théoriques. [...]

Certains commentaires et retours ont donné lieu à des ajustements lors de la réingénierie du jeu, quelques uns renforçant l'analyse des traces quantitatives effectuée en parallèle. En particulier, de nombreux étudiants pointent le manque d'explications suite aux activités intégrant des quiz (une partie des pas visualisés avec la couleur rouge dans la seconde visualisation proposée) :

[... Je n'ai pas aimé de ne pas] savoir quelles questions étaient fausses ou pas puisqu'au final si c'est faux on n'a pas de réelles corrections et d'explications [...]

Les enseignants ont largement débattu sur l'intérêt d'indiquer si une réponse est bonne ou fausse. Les études de cas étant basées sur des cas réels, un résultat (ou un choix) n'est vérifié que si l'ingénieur le demande explicitement. Le débat n'est pas clos au moment de la rédaction de cette thèse.

5.5.3 Analyse des traces et du questionnaire par les enseignants et réingénierie du *learning game*

Un premier entretien a été mené fin août 2017 avec l'enseignant auteur du *learning game* MaE. Ce dernier a très vite exprimé les limites de l'exercice face au grand nombre de données disponibles. Néanmoins il a pointé plusieurs éléments intéressants :

Point 1 : le temps de réalisation avec succès anormalement court pour un certain nombre d'étudiants, parfois largement inférieur à quatre heures (la durée de jeu a été estimée entre quatre et huit heures) ;

Point 2 : le nombre important d'étudiants ayant consulté les supports de cours durant le jeu (détecté à l'aide de la première visualisation) ;

Point 3 : la quasi impossibilité de sortir du jeu avec un *game-over* ;

Point 4 : le grand nombre d'étudiants ayant réalisé au moins deux fois une des huit études de cas (détecté à l'aide de la seconde visualisation), avec un meilleur résultat dans les tentatives suivantes.

L'enseignant a fait plusieurs hypothèses pour expliquer ces observations, hypothèses appuyées par les autres enseignants utilisateurs du *learning game*. Pour expliquer le temps très court (point 1), les enseignants avancent un partage des réponses et des bons choix entre étudiants. Cette hypothèse a été validée après le *debriefing* avec les étudiants qui a suivi l'utilisation du jeu [Lederman, 1992] et de l'analyse du questionnaire (partie 5.5.2). Les étudiants ont mis en avant leur impatience à découvrir les illustrations et le scénario du jeu. Le second point semble montrer l'intérêt d'intégrer ces supports de cours au jeu : l'apprenant reste dans le jeu mais peut consulter des ressources utiles pour sa progression dans le scénario. Le point 3 est expliqué par un trop grand nombre de récompenses en point de confiance (l'équivalent des points de vie) et le trop faible nombre de perte de ces points, rendant le jeu trop facile. Enfin le quatrième point semble renforcer d'une part l'intérêt du choix des études de cas à réaliser et d'autre part celui du scénario non-linéaire.

Les résultats du questionnaire ont permis d'identifier un point supplémentaire qui pose la question des *feedbacks* donnés aux étudiants tout au long du jeu :

Point 5 : le manque d'explication en cas de résultat faux aux questions intégrées dans le jeu.

Suite à ces observations, les enseignants ont fait des propositions pour améliorer le *learning game*, menant ainsi à une réingénierie de MaE. Le point 1 a surtout influencé l'intégration du jeu au sein du dispositif pédagogique. Les enseignants ont intégré le jeu comme fil conducteur des travaux pratiques donnés aux étudiants, ces derniers réalisant les études de cas en présentiel (et comme activités libres pour les autres apprenants du MOOC). Le point 3 a amené à supprimer une partie des récompenses de point de confiance et à modifier le calcul des scores dans le jeu. Enfin, le point 5 a donné lieu à l'intégration de commentaires complémentaires dans le jeu. L'enseignant propose par ailleurs une réflexion autour du *debriefing* mis en place à l'issue de l'utilisation du jeu pour permettre d'une part l'explication des résultats obtenus par les étudiants, et d'autre part la prise de conscience des compétences acquises tout au long du *learning game* [Lederman, 1992].

La nouvelle version de "Mission à Emosson" a été intégrée à la troisième session du MOOC qui a débuté en septembre 2017.

5.5.4 Limites de la visualisation des traces

Suite à cette phase de réingénierie, nous avons réalisé un ensemble d'entretiens libres avec les enseignants pour obtenir leur avis quant à l'analyse de traces effectuée sur le *learning game* MaE. Certains d'entre eux, bien qu'ayant apprécié la double visualisation proposée, ont eu beaucoup de mal à gérer le grand nombre d'informations apportées par *Undertracks* (figure 5.15, l'image est volontairement peu précise pour illustrer les propos des enseignants). Ayant suggéré de récupérer en complément le score obtenu à chaque pas, ils pointent la surcharge probable d'informations en intégrant l'ensemble des traces intéressantes dans la visualisation. Une piste pourrait être de structurer la visualisation en fonction du modèle DISC, c'est-à-dire séparer visuellement les étapes et études de cas pour représenter la structure hiérarchique du modèle. Cette approche reste aujourd'hui à développer et entre dans nos perspectives de travail.

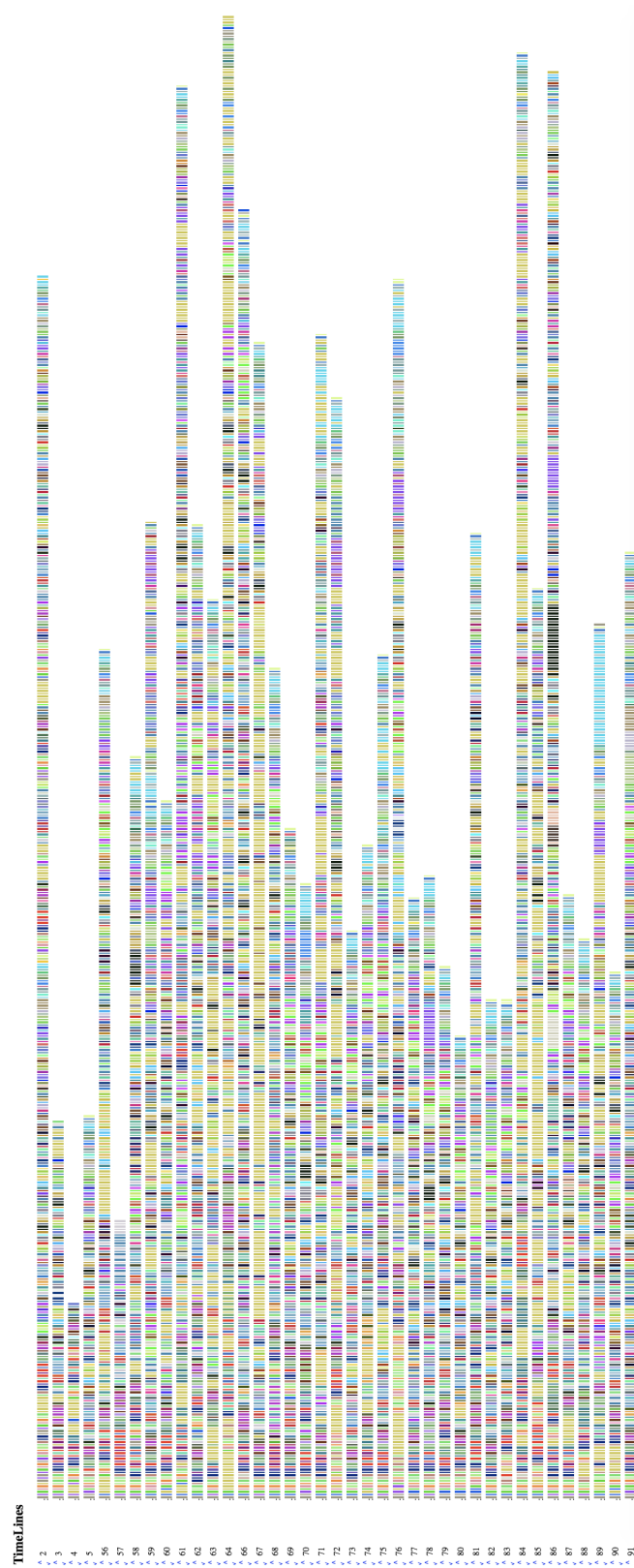


Figure 5.15 – Les 39 premiers chemins des étudiants de l'ESTP avec la première visualisation (une couleur = un pas) avec *Undertracks*.

Outre cette difficulté à visualiser le grand nombre de chemins obtenus, ils ont pointé le besoin d'indicateurs pour jauger le comportement global des apprenants ou étudiants. Un enseignant a ainsi noté (une mission dans MaE correspond à une étude de cas de DISC)

[... le] besoin de globalement ressentir la façon dont les étudiants réalisent telle ou telle mission. [...]

L'auteur de MaE a, quant à lui, proposé la création d'indicateurs de difficulté sur un pas, une succession de pas ou une étude de cas. Cette proposition a fait l'objet d'un travail complémentaire sur la base des traces recueillies lors de l'expérimentation à l'ESTP avec MaE.

5.6 Indicateurs et tableaux de bord pour les enseignants

Comme évoqué précédemment, l'auteur de MaE a proposé la création d'indicateurs de difficulté sur un pas, une succession de pas ou une étude de cas. Il a proposé de calculer ceux-ci à l'aide des traces des étudiants recueillies lors de l'expérimentation à l'ESTP avec le jeu MaE, et avec l'objectif d'améliorer la phase de réingénierie du *learning game*. Pour élaborer une proposition, nous avons travaillé avec l'enseignant et un *game designer*. Il s'agissait de définir un critère de difficulté pour un temps de jeu donné. La seule indication du temps moyen pris par les étudiants semble inadéquate : un long temps de jeu peut s'expliquer par un grand nombre d'actions à réaliser sans être pour autant difficile. D'autres indicateurs, basés sur les scores ou encore sur le nombre de tentatives avant un succès, ont été évoqués sans pour autant aboutir à une proposition. Le groupe a aussi travaillé sur le nombre de pas effectué pour réaliser une étude de cas ou une étape, mais l'enseignant a noté que le chemin attendu pouvait être le chemin le plus long en terme de pas. Il faudrait alors étudier cet indicateur étape par étape ou étude de cas par étude de cas, ce qui a paru complexe à l'enseignant.

La proposition suivante a été co-construite par l'échange entre l'enseignant, le *game designer* et le chercheur.

5.6.1 Indicateur de difficulté basé sur le temps

L'indicateur de difficulté sur un pas, une séquence de pas ou une étude de cas (qui peut être vue comme une séquence de pas) s est défini comme le rapport entre le temps moyen pris par les apprenants pour réaliser s et le temps pris par l'enseignant pour réaliser s . Baptisé Ξ_s ⁶, cet indicateur est défini par l'équation 5.2.

6. Ξ se lit cheth, un symbole du phénicien ancien dont une traduction pourrait être haie, barrière.

$$\Theta_s = \frac{\sum_{i=1}^n ts_i(succes)}{ts_{enseignant} \cdot n} \quad (5.2)$$

avec

- $n \in \mathbb{N}^*$, le nombre d'apprenants ayant réalisé le pas ou la séquence de pas s ;
- $ts_i(succes)$ le temps pris par l'apprenant i pour réaliser le pas ou la séquence de pas s (en seconde) ;
- $ts_{enseignant}$ le temps pris par l'enseignant pour réaliser le pas ou la séquence de pas (en seconde).

5.6.2 Interprétation de l'indicateur de difficulté

Une première interprétation peut être proposée à l'aune de cette définition de Θ_s .

- $\Theta_s > 2$ indique une séquence de pas s trop difficile, le temps moyen des apprenants étant plus de deux fois supérieur à celui de l'enseignant.
- $1 < \Theta_s < 2$ indique une difficulté adéquate.
- $\Theta_s < 1$ ne doit, en principe, pas se produire. En effet, il est peu probable que les apprenants réalisent une séquence de pas donnée plus rapidement que l'enseignant.

Après un certain nombre d'utilisation du *learning game*, Θ_s peut aussi être interprété comme un indicateur de la performance moyenne des apprenants sur l'usage du jeu en cours. Une augmentation de celui-ci sur un nouveau groupe d'apprenants indique, par exemple, que le groupe d'apprenants a plus de difficulté à réaliser la séquence de pas étudiée.

5.6.3 Calcul de l'indicateur pour le *learning game* MaE

Nous avons tenté de calculer Θ_s pour une étude de cas au sein du *learning game* "Missions à Emosson" avec les données issues de l'expérimentation de MaE à l'ESTP présentée dans le chapitre 5 (un extrait du fichier de traces est consultable à l'annexe F). Le résultat obtenu est encourageant.

Pour la mission de La Bâtiaz (seconde étude de cas de l'étape 2, $Ec_{2,2}$), le temps pris par l'enseignant auteur pour réaliser la mission est de $ts_{enseignant} = 1200s$ (environ 20 minutes). Nous avons trouvé un temps moyen pour cette séquence de la part des 203 étudiants ayant réalisé cette mission avec succès lors de leur première tentative de

$$\frac{\sum_{i=1}^{203} ts_i(succes)}{203} = 1208s$$

Nous obtenons la valeur de Θ_s suivante

$$\Theta_s = 1.01$$

D'après nos propositions concernant l'interprétation de Ξ_s , cette valeur indique une difficulté adaptée pour cette étude de cas. Pour autant, cette valeur, très proche de 1, semble confirmer les éléments vus lors du *debriefing* avec les étudiants par rapport à la divulgation des résultats des activités lors de l'usage du jeu.

Il nous reste à travailler cette proposition et vérifier son intérêt pour les enseignants comme critère pour détecter le besoin de réingénierie d'une séquence de pas au sein d'un *learning game*.

5.6.4 Vers un tableau de bord pour les enseignants

Comme évoqué, un autre indicateur basé sur le score a été imaginé par l'enseignant auteur de MaE. Calculé avec le même type de formule que Ξ_s en remplaçant le temps moyen par le score moyen et le temps pris par l'enseignant par le score maximal, il n'a pu être expérimenté, les enseignants n'ayant pas initialement demandé la récupération des scores d'un pas donné.

Plus largement, un ensemble d'indicateurs globaux permettrait une analyse croisée de ceux-ci. Se pose alors la question de la création et la mise à disposition de tableaux de bord pour les enseignants intégrant ces indicateurs. L'objectif de ces tableaux est de visualiser l'ensemble des éléments relatifs aux traces des étudiants au sein d'un outil unique. Ces tableaux de bord, adaptables et paramétrables en fonction des besoins des enseignants, afficheraient ainsi les données adéquates. Il s'agit d'une problématique à part entière qui sort de notre problématique initiale (tout en restant connexe à celle-ci).

5.7 Synthèse

L'évaluation du modèle DISC et l'expérimentation menée montre une nouvelle fois la pertinence de l'approche *meta-design* des *learning games*.

En plus des points positifs relevés avec le modèle DISCO, nous pouvons pointer les points suivants :

- l'utilité de la décomposition du modèle de domaine D , souvent en rapport avec le chapitrage des cours sur lesquels le *learning game* s'appuie ;
- l'adhésion des enseignants au concept et au modèle des études de cas $Ec_{i,j}$ (y compris la représentation de ce dernier sous forme de diagramme d'activités) ;
- l'intérêt des propriétés du modèle : indépendance des études de cas dans une étape donnée et modularité dans la co-conception des étapes et des études de cas ;
- la pertinence de l'analyse collaborative des traces avec les enseignants à l'aide de deux visualisations complémentaires obtenues avec *Undertracks*.

Néanmoins, des remarques montrent les imperfections de DISC, mais aussi, une nouvelle fois, la faiblesse des outils pour l'analyse de traces mis en place dans cette seconde phase de recherche.

Nous pouvons pointer les points suivants :

- une difficulté à comprendre et à utiliser l'élément I, alors que le concept d'activité semble plus intéressant du point de vue de l'enseignant ;
- la difficulté à traiter et à visualiser un volume de données important ;
- la difficulté pour les enseignants de définir les traces à recueillir ;
- les enseignants ont noté le besoin d'indicateurs permettant de jauger le comportement global des apprenants et le besoin de tableaux de bords intégrant ces indicateurs.

Pour ce second cycle de recherche, en considérant le bloc "Produire et analyser des données" du sous-processus "Expérimentation", nous avons choisi d'indiquer les indicateurs du tableau 5.5 correspondant aux deux expérimentations menées. Étant donné ces indicateurs et les résultats obtenus à la suite des expérimentations, nous avons pris la décision de réaliser une nouvelle itération du cycle de recherche.

	Expérimentation avec l'outil activable DISC	Expérimentation avec l'outil activable MaE
Nombre de participants	1 enseignant auteur, 3 enseignants utilisateurs	609 apprenants
Volume de données exploitées	2 entretiens	872 chemins
Type de données	Qualitatif	Quantitatif (traces d'usage) et qualitatif (questionnaire)

Tableau 5.5 – Indicateurs du bloc "Produire et analyser des données" du sous-processus "Expérimentation" de la seconde itération du modèle

Chapitre 6

Perspectives et conclusion

Ce chapitre clôt ce manuscrit en apportant les perspectives envisagées afin de poursuivre le travail présenté. La seconde itération du modèle, DISC, a donné des résultats encourageants. Pour autant, les expérimentations menées ont levé des difficultés quant à la co-conception avec les enseignants. Nous donnons dans ce chapitre les perspectives immédiates des recherches réalisées, un bilan sur le travail de recherche mené et la conclusion de ce manuscrit.

Dans une première partie, nous donnerons les perspectives à venir dont certaines ont déjà fait l'objet de propositions. Celles-ci seront la base de prochaines expérimentations dont la co-conception d'un *learning game* en biologie. Puis, dans une seconde partie, nous donnerons la conclusion de cette thèse en donnant le bilan de nos travaux et en proposant d'autres pistes de travail.

6.1 Perspectives immédiates

Il s'agit ici pour nous de présenter les perspectives issues de nos travaux précédents mais aussi des points d'améliorations. Dans une première partie de ce chapitre, nous insisterons sur la notion de *flow* qui transparait dans le modèle DISC pour donner dans la partie suivante une nouvelle proposition, le modèle CasSCADDe. Ce modèle, centré sur les études de cas (Cas), les activités (*A*) et les éléments nécessaire à la réingénierie (De), est associé à une méthode de type *meta-design*. Enfin, nous présentons une extension à d'autres types de *learning games* des travaux présentés dans ce manuscrit au travers de la réalisation de *serious escape games*.

6.1.1 Intégrer le *flow*

Issu des travaux de Csikszentmihalyi [Csikszentmihalyi, 1990] dans le domaine de la psychologie cognitive, le *flow* est un état mental particulier atteint par une personne totalement plongée dans une activité donnée, et qui se trouve dans un état de concentration maximale. Il se caractérise par une impression de plein engagement et de satisfaction par rapport à l'accomplissement de la tâche à réaliser.

Chen [Chen, 2007] évoque cet état particulier dans le jeu (en particulier dans le jeu vidéo). Il précise que beaucoup de travaux cherchent à évaluer le *flow* dans les jeux, mais

peu intègrent le *flow* dans la conception du jeu. A fortiori, le *flow* est rarement intégré dans la conception des *serious games*.

Lors du *debriefing* réalisé à la fin du *learning game* MaE, les étudiants avaient signalé l'envie de voir la fin du jeu :

[... pour] voir les illustrations de fin du jeu. [... J'avais] l'impression d'être porté par l'histoire, de voir où tout ça allait nous emmener. [...]

De plus, après analyse des traces d'usage des étudiants, celles-ci nous indiquent des temps de jeu en continu importants. La structure narrative des *learning games* conçus dans nos expérimentations semble être un élément important qui, il nous faudra le vérifier, semble participer à un état de *flow* pour les apprenants.

Une première étape sera pour nous d'évaluer le *flow* dans les *learning games* conçus à l'aide de notre modèle et ainsi améliorer son intégration dès la phase de conception (et d'améliorer ce point lors de la réingénierie des jeux). Fu, Su et Yu [Fu et al., 2009] ont proposé d'évaluer le *flow* au travers d'un questionnaire. Une traduction et une adaptation de celui-ci va être proposé aux étudiants lors de la quatrième session du MOOC "Introduction à la mécanique des fluides" en septembre 2018.

Une seconde étape consistera, suite à l'analyse des réponses au questionnaire d'évaluation du *flow*, de déterminer dans le modèle les éléments impactés par ce concept.

6.1.2 Outiller l'analyse de traces

L'expérimentation présentée dans le chapitre 5 a montré la difficulté des enseignants à appréhender un gros volume de données avec de nombreuses dimensions. Malgré ce volume conséquent, certains travaux n'ont pu être menés faute de données suffisantes pour certains aspects en particulier (score pour chaque pas par exemple).

Une première proposition est de travailler avec les enseignants la définition des traces à recueillir. Nous avons laissé dans les deux expérimentations, carte blanche aux auteurs pour cette définition. Ils ont eux même constaté les manques après le recueil des traces d'usage, par exemple pour la finesse des informations à chaque pas du scénario des études de cas. Les enseignants, les chercheurs et les ingénieurs pédagogiques doivent définir ces éléments lors de la co-conception des *learning games*. De fait, il faut clairement intégrer cette phase de co-définition dans le modèle et la méthode associée.

Une seconde piste consiste à traiter ces traces pour les rendre exploitables. Les indicateurs de difficultés présentés dans le chapitre 5 sont une première piste. Comme évoqué, la fouille de données donne de bons résultats pour d'autres EIAH et constitue une piste intéressante. Des travaux menés par Guerra, Sahebi, Lin et Brusilovsky [Guerra et al., 2014] utilisent des algorithmes génétiques pour analyser les scores successifs des apprenants réalisant des exercices paramétrés, opérant ainsi une recherche de séquences (*sequential pattern mining*) au sein des successions de scores. À partir de quatre bases traduisant les réussites ou échecs aux exercices et le temps pris pour les réaliser (tableau 6.1), ils définissent d'une graine (*seed*) et recherchent les séquences commençant par cette graine.

Notre proposition est de réaliser un travail similaire mais en travaillant sur la base de graines finissant par des pas dans lesquels les apprenants ont soit perdu un point de vie (tels les pas AU et AF de la séquence [AB, AC, AU, AF] du chapitre 4), soit quitté le jeu, soit enfin réalisé un score faible. Deux pistes sont alors possibles :

's'			'S'			'f'			'F'		
Succès	avec	un	Succès	avec	un	Échec	avec	un	Échec	avec	un
temps court			temps long			temps court			temps long		

Tableau 6.1 – Définition des quatre bases pour les travaux de Guerra [Guerra et al., 2014].

- travailler sur l'ensemble des pas des chemins des apprenants ;
- travailler sur les pas contenant une activité intégrant une évaluation (quiz ou autres).

Cette fouille doit permettre, à l'instar du travail manuel présenté dans le chapitre 4, de donner un maximum d'éléments aux enseignants pour analyser l'usage du jeu et donc permettre la réingénierie de celui-ci.

6.1.3 Le modèle CasSCADDe

Suite à la précédente itération de recherche autour de DISC et à la vue des indicateurs THEDRE donnés en fin de chapitre 5, nous proposons une nouvelle version du modèle de conception de *learning game*, baptisée CasSCADDe (pour Cas, Scénario, Contexte, Activités, Domaine, Définition des traces et indicateurs).

6.1.3.1 Proposition

Le modèle CasSCADDe s'articule autour de quatre structures distinctes, gigognes et hiérarchisées : le *learning game*, les étapes et les études de cas de DISC, auxquelles nous ajoutons les activités.

Le modèle CasSCADDe est construit autour des six éléments suivants :

- Cas** : élément de base du modèle, de courtes études de cas décrivant un cas réel dans lequel l'apprenant joue le rôle central, chacune suivant les caractéristiques de l'acronyme P.I.S.T.E. ;
- S** : le scénario, intervenant sur deux niveaux de granularité différents (étapes et études de cas) et associé à une structure narrative globale intégrant la notion de *flow* ;
- C** : le contexte et les contraintes associés à l'usage du *learning game*, description de l'activité pédagogique dans lequel l'EIAH prend place, intégrant les phases de *debriefing* et les modalités d'évaluations du *learning game* auprès des apprenants ;
- A** : un ensemble d'activités reprenant les éléments du modèle ATMSG, y compris les taxonomies d'actions, d'objectifs pédagogiques et d'outils ;
- D** : le modèle du domaine, structuré en deux niveaux (un premier niveau qui structure les étapes, un second spécifiant les compétences dans chacun des niveaux) ;
- De** : la définition des traces d'usage à recueillir, des données issues de celles-ci et des indicateurs et *feedbacks* par et pour les enseignants.

Le processus s'intègre dans une démarche *meta-design* : spécification des objectifs généraux, spécification de *D*, définition de *C*, co-construction de *S* et des études de cas *Cas*, définition et choix des activités *A*, en parallèle avec la définition du type de traces à recueillir et des indicateurs *De* (figure 6.1). La méthode intègre aussi la phase d'analyse de ces traces par les enseignants qui doit permettre la réingénierie du jeu.

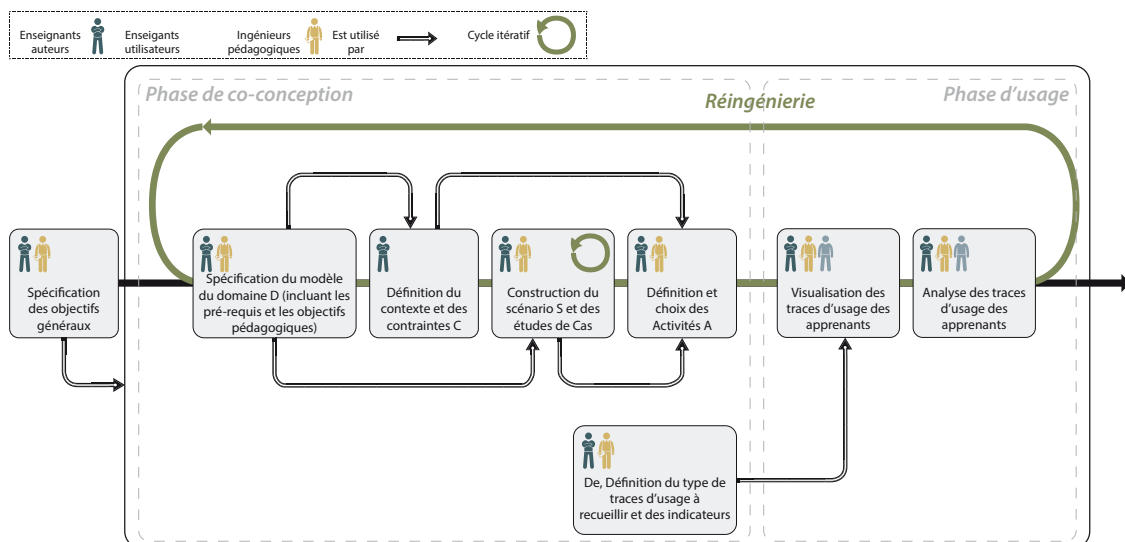


Figure 6.1 – Méthode associée au modèle CasSCADDe intégrée dans une démarche *meta-design*.

6.1.3.2 Genèse du modèle

Le modèle CasSCADDe découle des expérimentations menées avec le modèle DISC. Les constats réalisés à propos de DISC à l'issu de celles-ci concernent

- l'élément *I* : Le concept même d'interactions pose problème aux enseignants. De plus, ils ont des difficultés à définir des interactions spécifiques avec le modèle du domaine et choisissent souvent des interactions classiques.
- l'importance des concepts d'étude de cas et d'activités : les enseignants manipulent ces concepts avec aisance. Les retours des apprenants sont positifs quant au découpage en études de cas.

Ces deux points nous ont incité à intégrer ces éléments de manière plus visible dans notre modèle. L'élément *C* intègre désormais les spécifications de l'évaluation du *learning game* auprès des apprenants, en plus d'une description de l'environnement d'utilisation du jeu et de l'activité dans lequel il prend place (y compris le *debriefing* favorisant la prise de conscience des compétences acquises ou vues lors de l'utilisation du jeu).

6.1.3.3 Expérimentation à venir

Le modèle CasSCADDe fera l'objet d'une expérimentation dans les mois à venir. Une enseignante est intéressée pour réaliser un *learning game* dans le domaine de la biologie à l'école des Mines d'Alès. Cette expérimentation présente l'intérêt, outre celui de valider le modèle, de transmettre la méthode à une autre équipe d'ingénieurs pédagogiques.

Nous avons d'ores et déjà réalisé l'orchestration des expérimentations à réaliser dans les mois à venir. Le diagramme (figure 6.2) concerne les outils activables suivants : CasSCADDe, le *learning game* en biologie et un outil de visualisation des traces d'usage de celui-ci intégrant les indicateurs de difficulté.

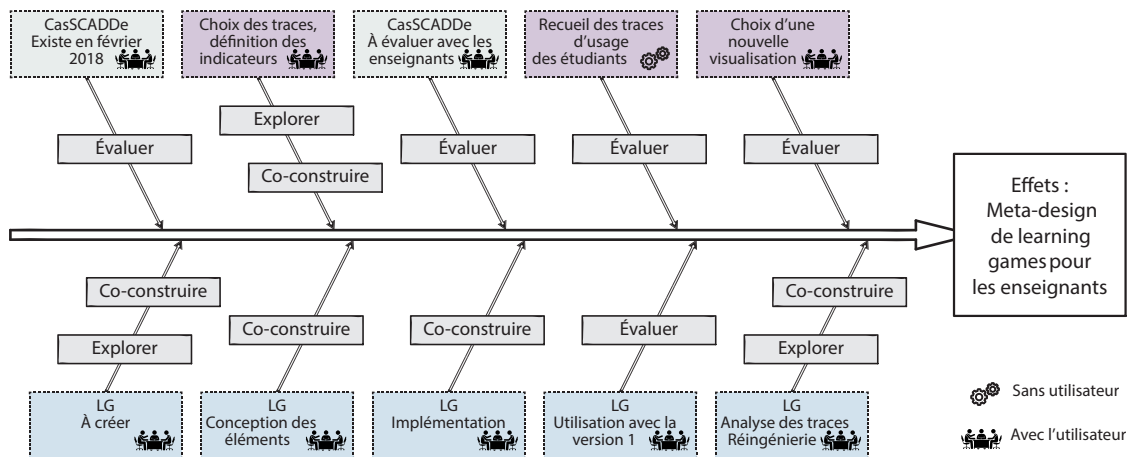


Figure 6.2 – Diagramme d'orchestration des outils activables : CasSCADDe, du *learning game* en biologie et de l'outil de visualisation associé au modèle.

6.1.4 Vers d'autres modèles de *learning games*

Nos travaux ont permis la création d'un modèle dérivé du modèle DISC pour la création d'un type de *learning game* différent basé sur les *escape games* (ou jeux d'évasion). Ces derniers sont définis comme des jeux d'évasion grandeur nature multi-joueurs, qui consistent pour un groupe de joueurs à s'échapper d'une pièce ou d'une succession de pièces dans un temps limité. Pour ce faire, le groupe doit trouver et collecter un certain nombre d'indices et d'objets afin de résoudre des énigmes. Les *escape games* proposent un challenge qui favorise l'entraide et la coopération entre joueurs (chacun apportant ses compétences au moment opportun).

En reprenant et en adaptant la structure et les éléments de DISC, nous avons défini le modèle SEGAM (pour *Serious Escape Games Model*) [Guigon et al., 2018]. Ce modèle fait suite à la co-conception avec un enseignant d'informatique d'un *escape game* dans le domaine de l'optimisation combinatoire réalisé en novembre 2016 [Guigon et al., 2017]. SEGAM reprend en particulier le découpage en unités indépendantes (des énigmes) intégrées dans une succession d'étapes proposant une progression en terme de difficulté.

Bien que traitant d'un type de *learning game* différent, ce travail tente de répondre à une problématique similaire à celle traitée dans cette thèse. Il offre un modèle supplémentaire pour faciliter la conception et l'usage des *learning games* par les enseignants.

6.2 Conclusion

Notre travail semble montrer la pertinence de l'approche *meta-design* des *learning games* au travers des propositions énoncées et des expérimentations menées et présentées dans ce manuscrit. Pour autant, nous avons signalé des limites et de nombreuses pistes restent à explorer.

Dans une première partie, nous revenons sur la problématique et les questions de recherche qui ont guidé nos travaux. La partie suivante revient sur la méthodologie de recherche adoptée qui a permis l'émergence de nos propositions. Puis, nous dressons un bilan de nos contributions. Enfin, une dernière partie énonce quelques limites de notre travail et revient sur les perspectives plus larges.

6.2.1 Rappel des objectifs et questions de recherche

La problématique étudiée est celle de l'identification et de la définition des méthodes, des modèles et des outils pour favoriser la conception des *learning games*, qui associe étroitement les enseignants, et leur évolution afin de favoriser leur adoption. Nous avons choisi de traiter cette problématique via une approche *meta-design* des *learning games*, ce qui définit notre première question de recherche. De celle-ci découle deux autres questions que nous avons traitées lors de ces deux années de thèse.

Avec la seconde question, nous avons pour objectif de créer un modèle formel simple et représentable facilitant la conception collaborative de *learning games* avec les enseignants. Ce modèle devait permettre à la fois une co-conception plus aisée avec ces derniers, mais aussi la réingénierie des jeux suite à l'utilisation de ceux-ci.

La troisième question de recherche était d'articuler le modèle de *learning games* avec un outil de visualisation des traces des étudiants pour détecter des séquences d'usage

problématiques (*pattern*). L'analyse des traces par les enseignants devait faciliter le processus de réingénierie des jeux et ainsi favoriser leur adoption et donc l'usage.

6.2.2 Méthode de recherche et contributions

Par rapport à ces questions de recherche, cette thèse apporte quatre contributions principales.

Avec l'étude d'activités pédagogiques mises en œuvre dans l'enseignement supérieur, un premier travail présenté dans le chapitre 3 a permis la définition d'un type de *learning game* adéquat pour notre problématique, les *learning gamebooks*. Avec ce type spécifique, nous facilitons la conception des *learning games* en abordant des concepts connus par les enseignants, évitant ainsi l'écueil des modèles trop génériques.

Suite à cette première proposition, l'étude de l'état de l'art présentée dans le chapitre 3 et au travers de trois cycles de recherche suivant la méthode THEDRE explicitée dans le chapitre 2, nous avons proposé un modèle de *learning game* pour la co-conception de ceux-ci en impliquant fortement les enseignants. Les deux itérations de ce modèle ont été spécifiées dans les chapitres 4 et 5. Cette amélioration continue et les expérimentations ayant mené à la co-conception des deux *learning games* ont permis de définir le modèle DISC (et sa nouvelle itération, CasSCADDe, qui reste à expérimenter) centré sur la spécification d'un modèle du domaine et un scénario aisément représentables, et des études de cas et des activités facilement manipulables, par les enseignants.

Une troisième contribution concerne l'analyse des traces d'usage des apprenants directement par les enseignants. Les traces ayant été définies par ces derniers lors de la conception, nous avons proposé dans les chapitres 4 et 5 deux visualisations du parcours des apprenants au sein des jeux conçus lors des expérimentations. Cette analyse implique les enseignants dans la phase d'usage des *learning games*, permet la réingénierie et favorise l'adoption des jeux conçus.

Les jeux conçus dans les expérimentations sont aujourd'hui largement adoptés par des enseignants, auteurs ou non. Ainsi, le *learning game* "Estimation du bien-être en entreprise" conçu par deux enseignants a été utilisé pour trois sessions du MOOC "Statistique pour l'ingénieur" en 2016 et 2017 et une session de SPOC¹ reprenant les activités du MOOC uniquement accessible aux étudiants de l'IMT Lille Douai de décembre 2017 à février 2018. Le *learning game* "Missions à Emosson" conçu par un enseignant a été utilisé sur trois sessions du MOOC "Introduction à la mécanique des fluides" en 2016 et 2017, mais aussi comme ressource pour les cours dispensés à l'IMT Lille Douai et à l'ESTP. Au total, plus de 13 enseignants (auxquels il faut ajouter les trois auteurs initiaux) issus de sept établissements différents utilisent ces ressources au sein de leur enseignement. Ces deux jeux seront toujours au programme des deux MOOC pour l'année 2018. Par ailleurs ces deux *learning games* sont disponibles librement sur le site <http://lesecsper.imt-lille-douai.fr/>. Ce résultat est encourageant même s'il ne constitue pas une preuve de nos hypothèses de recherche.

Les trois contributions de ce travail de doctorat semblent confirmer que l'approche *meta-design* des *learning games*, en impliquant les enseignants dans les phases de conception et d'usage, favorise l'utilisation de ces ressources. L'usage des jeux co-conçus par des enseignants auteurs semble facilité par l'implication des enseignants utilisateurs dans

1. *Small Personal Online Course*

l'analyse de cet usage via les traces des étudiants et la possibilité d'adapter les *learning games* à leur pédagogie via la phase de réingénierie.

6.2.3 Limites et ouverture

Lors des évaluations des différentes itérations du modèle, nous avons identifié un certain nombre de limites des modèles présentés. La première d'entre elles est l'intégration des aspects ludiques dans la co-conception avec les enseignants. En choisissant de ne pas faire appel aux compétences spécifiques d'un *game designer* lors de la phase de conception des *learning games*, nous avons restreint ces aspects ludiques au niveau des activités et des interactions. Ceci nous encourage, comme nous l'avons soulevé dans le chapitre 6, à intégrer plus largement un aspect narratif dans le scénario et le *flow* dans cette phase de conception.

En recueillant les traces d'usage des étudiants du jeu conçu avec le modèle DISC, nous avons constaté les limites de l'analyse des traces sans traitement automatisé de celles-ci. En effet, le volume des traces étant potentiellement très important, il convient de mettre en place des traitements des données de type fouille de données ou de *process mining* pour faciliter la visualisation et l'analyse de celles-ci. Ce constat a mené à la définition d'indicateurs par les enseignants et donnera lieu à des travaux sur l'important volume de traces recueillies lors des expérimentations réalisées lors de cette thèse.

Un des axes de travail concerne la transmission de la méthode associée au modèle à d'autres concepteurs. Nous avons réalisé nos évaluations et expérimentations avec trois enseignants auteurs et une dizaine d'enseignants utilisateurs mais avec une seule équipe d'ingénieurs pédagogiques. Une passation du modèle et de la méthode associée a été faite pour une équipe de Telecom Sud Paris. Néanmoins, il reste à valider cette passation avec la conception d'un *learning game*, une expérimentation toujours en attente à ce jour. Dans le même ordre d'idée, nous avons évoqué dans le chapitre 5, une présentation de DISC à d'autres enseignants que l'auteur de MaE. Un jeu dans le domaine de la qualité de l'air a été co-conçu avec ces enseignants, permettant une expérimentation multi-auteurs. Néanmoins, le jeu, baptisé "The ECSPER at Smellville" ne sera mis à disposition des étudiants que fin 2018 et fera l'objet de publications ultérieures.

Ce chapitre expose nos perspectives suite aux derniers travaux menés. Au-delà de celles-ci, il nous faudra évaluer le modèle CasSCADDe au travers d'une expérimentation à venir. Nous souhaitons par ailleurs poursuivre la formalisation du modèle en vue de réaliser une réification de celui-ci, en intégrant les autres travaux de l'équipe MOCAH (en particulier les travaux autour de MoPPLiq). Cette réification pose la question des compétences des enseignants vis-à-vis des outils auteurs, ou à minima de l'acquisition d'une autonomie de l'outil créé (en particulier avec des enseignants non familiers des outils informatiques tel l'auteur de MaE).

Une autre perspective concerne l'amélioration des visualisations des traces pour les enseignants. Nous travaillons sur un traitement efficace des données par la recherche automatisée et l'identification des séquences fréquentes au sein des chemins des apprenants. Ce traitement doit permettre une visualisation simple à interpréter par les enseignants, auteurs ou simple utilisateurs. Nous visons une représentation des traces associée au modèle, en visualisant les étapes et études de cas du jeu.

D'une manière générale, le travail présenté marque une étape vers le *meta-design*

des *learning games*. En dehors de ces derniers, le *meta-design* est une approche intéressante qui, bien que définie initialement par Fischer pour la conception de logiciels informatiques, pourrait être étendue à d'autres domaines. La conception d'*escape games* pédagogiques est une piste de travail qui peut mener à la mise en place d'une approche *meta-design* des activités ou dispositifs pédagogiques avec ou sans usage du numérique. Cette approche peut aussi favoriser la montée en compétences des enseignants en les impliquant fortement dans l'analyse des usages des outils et dispositifs qu'ils conçoivent et même, par la facilitation de la collaboration multi-disciplinaire, l'émergence d'innovations pédagogiques.

Bibliographie

- [Abt, 1987] Abt, C. C. (1987). *Serious games*. University Press of America.
- [Agrawal and Srikant, 1994] Agrawal, R. and Srikant, R. (1994). Fast algorithms for mining association rules. In *Proc. 20th int. conf. very large data bases, VLDB*, volume 1215, pages 487–499.
- [Alvarez et al., 2016] Alvarez, J., Djaouti, D., and Rampnoux, O. (2016). *Apprendre avec les Serious Games ?* Éclairer. Canopé éditions.
- [ALVAREZ et al., 2012] ALVAREZ, J., PLANTEC, J.-Y., and VERMEULEN, M. (2012). Quels accompagnements associer au Serious game ? In *Actes du 8ième colloque Technologies de l'information et de la communication pour l'enseignement*, pages 184–189.
- [Alvarez et al., 2017] Alvarez, J., Plantec, J.-Y., Vermeulen, M., and Kolski, C. (2017). RDU Model dedicated to evaluate needed counsels for Serious Game projects. *Computers & Education*, 114 :38–56.
- [Anderson et al., 2001] Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., Airasian, P., Cruikshank, K., Mayer, R., Pintrich, P., Rath, J., and Wittrock, M. (2001). A taxonomy for learning, teaching and assessing : A revision of bloom's taxonomy. *New York. Longman Publishing*.
- [Artz, AF, & Armour-Thomas, E.(1992). *Development of a cognitive-metacognitive framework for protocol analysis of mathematical problem solving in small groups. Cognition and Instruction*, 9(2) :137–175.
- [Avenier, 2009] Avenier, M.-J. (2009). A methodological framework for constructing generic knowledge with intended value both for academia and practice.
- [Bogarín et al., 2018] Bogarín, A., Cerezo, R., and Romero, C. (2018). A survey on educational process mining. *Wiley Interdisciplinary Reviews : Data Mining and Knowledge Discovery*, pages n/a–n/a.
- [Bowker and Star, 2000] Bowker, G. C. and Star, S. L. (2000). *Sorting things out : Classification and its consequences*. MIT press.
- [Brougère, 2005] Brougère, G. (2005). *Jouer/apprendre*. Economica ; Anthropos.
- [Caillois, 1958] Caillois, R. (1958). *Les jeux et les hommes*. Gallimard.
- [Carvalho et al., 2015] Carvalho, M. B., Bellotti, F., Berta, R., De Gloria, A., Sedano, C. I., Hauge, J. B., Hu, J., and Rauterberg, M. (2015). An activity theory-based model for serious games analysis and conceptual design. *Computers & Education*, 87 :166–181.
- [Charlin et al., 2000] Charlin, B., Roy, L., Brailovsky, C., Goulet, F., and Van Der Vleuten, C. (2000). The Script Concordance test : a tool to assess the reflective clinician. *Teaching and learning in medicine*, 12(4) :189–195.

- [Chen, 2007] Chen, J. (2007). Flow in games (and everything else). *Communications of the ACM*, 50(4) :31–34.
- [Chikofsky and Cross, 1990] Chikofsky, E. J. and Cross, J. H. (1990). Reverse engineering and design recovery : a taxonomy. *IEEE Software*, 7(1) :13–17.
- [Choquet, 2007] Choquet, C. (2007). *Ingénierie et réingénierie des EIAH - L'approche REDiM*. HDR, Université du Maine.
- [Choquet and Iksal, 2007] Choquet, C. and Iksal, S. (2007). Modeling Tracks for the Model Driven Re-engineering of a TEL System. *Journal of Interactive Learning Research*, 18(2) :161.
- [Cohn, 2004] Cohn, M. (2004). *User stories applied : For agile software development*. Addison-Wesley Professional.
- [Csikszentmihalyi, 1975] Csikszentmihalyi, M. (1975). Play and intrinsic rewards. *Journal of humanistic psychology*.
- [Csikszentmihalyi, 1990] Csikszentmihalyi, M. (1990). Flow. The Psychology of Optimal Experience. New York (HarperPerennial) 1990.
- [Dalziel, 2008] Dalziel, J. (2008). Using LAMS Version 2 for a game-based Learning Design. *Journal of Interactive Media in Education*, 2008(2).
- [Daniau, 2005] Daniau, S. (2005). *Jeu de Rôle Formatif et maturation des adultes-Co-recherche-action-formation et approche écobiosychosociale*. PhD thesis, Université Paul Valéry-Montpellier III.
- [Djaouti, 2011] Djaouti, D. (2011). *Serious Game Design : considérations théoriques et techniques sur la création de jeux vidéo à vocation utilitaire*. PhD thesis.
- [Dooley and Skinner, 1977] Dooley, A. R. and Skinner, W. (1977). Casing casemethod methods. *Academy of Management Review*, 2(2) :277–289.
- [Egenfeldt-Nielsen, 2004] Egenfeldt-Nielsen, S. (2004). Practical barriers in using educational computer games. *On the Horizon*, 12(1) :18–21.
- [El-Kechaï and Labat, 2012] El-Kechaï, N. and Labat, J. M. (2012). Premier pas vers un outil pour réaliser des serious games de type étude de cas. pages 30–35.
- [El-Kechaï et al., 2015] El-Kechaï, N., Melero, J., and Labat, J.-M. (2015). Quelques enseignements tirés de l'application de la Competence-based Knowledge Space Theory aux Serious Games. In *IC2015, AFIA*, Rennes, France. AFIA.
- [Fabricatore, 2000] Fabricatore, C. (2000). Learning and videogames : An unexploited synergy.
- [Ferguson, 2012] Ferguson, R. (2012). Learning analytics : drivers, developments and challenges. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, 4(5-6) :304–317.
- [Fischer, 2000] Fischer, G. (2000). Symmetry of Ignorance, Social Creativity, and Meta-design. *Know.-Based Syst.*, 13(7-8) :527–537.
- [Fischer et al., 2004] Fischer, G., Giaccardi, E., Ye, Y., Sutcliffe, A. G., and Mehandjiev, N. (2004). Meta-design : a manifesto for end-user development. *Communications of the ACM*, 47(9) :33–37.

- [Forment et al., 2009] Forment, M. A., Guerrero, M. J. C., González, M. A. C., Peñalvo, F. J. G., and Severance, C. (2009). Interoperability for LMS : The Missing Piece to Become the Common Place for Elearning Innovation. In Lytras, M. D., Damiani, E., Carroll, J. M., Tennyson, R. D., Avison, D., Naeve, A., Dale, A., Lefrere, P., Tan, F., Sipior, J., and Vossen, G., editors, *Visioning and Engineering the Knowledge Society. A Web Science Perspective*, number 5736 in Lecture Notes in Computer Science, pages 286–295. Springer Berlin Heidelberg.
- [Freire et al., 2014] Freire, M., Blanco, A. d., and Fernandez-Manjon, B. (2014). Serious games as edX MOOC activities. In *2014 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pages 867–871.
- [Fronton et al., 2015] Fronton, K., Vermeulen, M., and Quelenec, K. (2015). Les ECS-PER : Retour d'expérience d'une étude de cas de type serious game en gestion de projet. In *E-Formation 2015*, Lille, France.
- [Fu et al., 2009] Fu, F.-L., Su, R.-C., and Yu, S.-C. (2009). EGameFlow : A scale to measure learners' enjoyment of e-learning games. *Computers & Education*, 52(1) :101–112.
- [Gebbers and Crozat, 2010] Gebbers, E. and Crozat, S. (2010). Chaînes éditoriales Scenari et unité ICS. *Distances et savoirs*, 7(3) :421–442.
- [George, 2010] George, S. (2010). *Interactions et communications contextuelles dans les environnements informatiques pour l'apprentissage humain*. thesis, INSA de Lyon.
- [Grellier, 2008] Grellier, D. (2008). *Les pratiques ludiques de simulation de rôles : reflet et trajet de l'esprit du temps : jeux de rôles, jeux vidéo de rôles et d'aventures, jeux de rôles en ligne massivement multijoueurs*. PhD Thesis, Montpellier 3.
- [Guerra et al., 2014] Guerra, J., Sahebi, S., Lin, Y.-R., and Brusilovsky, P. (2014). The problem solving genome : Analyzing sequential patterns of student work with parameterized exercises. In *Educational Data Mining 2014*.
- [Guigon et al., 2017] Guigon, G., Humeau, J., and Vermeulen, M. (2017). Escape Classroom : un escape game pour l'enseignement. In *9ème Colloque Questions de Pédagogie dans l'Enseignement Supérieur (QPES 2017)*, Grenoble, France.
- [Guigon et al., 2018] Guigon, G., Humeau, J., and Vermeulen, M. (2018). A Model to Design Learning Escape Games : SEGAM. In *CSEDU 2018*, Funchal, Madeira-Portugal.
- [Harrak et al., 2017] Harrak, F., Bouchet, F., and Luengo, V. (2017). Identifying relationships between students' questions type and their behavior. In *10th International Conference on Educational Data Mining*, Wuhan, China. IEDMS.
- [Hegel, 1820] Hegel, G. (1820). *Principes de la philosophie du droit*. Berlin.
- [Jonassen and Rohrer-Murphy, 1999] Jonassen, D. H. and Rohrer-Murphy, L. (1999). Activity theory as a framework for designing constructivist learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 47(1) :61–79.
- [Kopeinik et al., 2012] Kopeinik, S., Nussbaumer, A., Bedek, M., and Albert, D. (2012). Using CbKST for learning path recommendation in game-based learning. In *20th International Conference on Computers in Education*, pages 26–30.

- [Labarthe et al., 2016] Labarthe, H., Bouchet, F., Bachelet, R., and Yacef, K. (2016). Does a Peer Recommender Foster Students' Engagement in MOOCs? In *Society (IEDMS)*, I. E. D. M., editor, *9th International Conference on Educational Data Mining*, pages 418–423, Raleigh, United States.
- [Lebis et al., 2016] Lebis, A., Lefevre, M., Luengo, V., and Guin, N. (2016). Towards a Capitalization of Processes Analyzing Learning Interaction Traces. In *European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2016)*, Lyon, France.
- [Lederman, 1992] Lederman, L. C. (1992). Debriefing : Toward a Systematic Assessment of Theory and Practice. *Simulation & Gaming*, 23(2) :145–160.
- [Lejeune and Pernin, 2004] Lejeune, A. and Pernin, J.-P. (2004). A Taxonomy for Scenario-Based Engineering. In *CELDA*, pages 249–256.
- [Loup et al., 2015] Loup, G., George, S., and Serna, A. (2015). Fondements et caractérisation des jeux épistémiques numériques pervasifs. *Actes d'Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, EIAH. p. in press., Agadir, Maroc*.
- [Mandran, 2017] Mandran, N. (2017). *THEDRE : Traceable Human Experiment Design Research*. Theses, Université Grenoble Alpes.
- [Mandran and Dupuy-Chessa, 2017] Mandran, N. and Dupuy-Chessa, S. (2017). THEDRE : A Traceable Process for High Quality in Human Centred Computer Science Research. In *Information Systems Development : Advances in Methods, Tools and Management (ISD2017 Proceedings)*, Lanarca, Cyprus. Paspallis, N., Raptopoulos, M. Barry, M. Lang, H. Linger, & C. Schneider (Eds.).
- [Mandran et al., 2015] Mandran, N., Ortega, M., Luengo, V., and Bouhineau, D. (2015). DOP8 : merging both data and analysis operators life cycles for technology enhanced learning. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Learning Analytics And Knowledge*, pages 213–217. ACM.
- [Marchiori et al., 2012] Marchiori, E. J., Torrente, J., del Blanco, A., Moreno-Ger, P., Sancho, P., and Fernández-Manjón, B. (2012). A narrative metaphor to facilitate educational game authoring. *Computers & Education*, 58(1) :590–599.
- [Marfisi-Schottman, 2012] Marfisi-Schottman, I. (2012). *Méthodologie, modèles et outils pour la conception de Learning Games*. PhD thesis.
- [Marfisi-Schottman et al., 2013] Marfisi-Schottman, I., Labat, J.-M., and Carron, T. (2013). Approche basée sur la méthode pédagogique des cas pour créer des Learning Games pertinents dans de nombreux domaines d'enseignement. In *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, EIAH'2013*, pages 67–78.
- [Mariais, 2012] Mariais, C. (2012). *Modèles pour la conception de Learning Role-Playing Games en formation professionnelle*. PhD thesis.
- [Mariais et al., 2011] Mariais, C., Michau, F., Pernin, J.-P., and Mandran, N. (2011). " Learning Role-Playing Games " : méthodologie et formalisme de description pour l'assistance à la conception-Premiers résultats d'expérimentation. In *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, Conférence EIAH'2011*, pages 95–107. Editions de l'UMONS.
- [Marne, 2014] Marne, B. (2014). *Modèles et outils pour la conception de jeux sérieux : une approche meta-design*. PhD thesis.

- [Marne et al., 2013] Marne, B., Carron, T., Labat, J.-M., and Marfisi-Schottman, I. (2013). MoPPLiQ : a model for pedagogical adaptation of serious game scenarios. In *Advanced Learning Technologies (ICALT), 2013 IEEE 13th International Conference On*, pages 291–293. IEEE.
- [Marne and Labat, 2012] Marne, B. and Labat, J.-M. (2012). Implémentation de patrons de conception pour l'adaptation des parcours pédago-ludiques dans les jeux sérieux. In *8ème Colloque Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement (TICE 2012)*, pages 69–79.
- [Marne and Labat, 2014] Marne, B. and Labat, J.-M. (2014). Model and authoring tool to help teachers adapt serious games to their educational contexts. *International Journal of Learning Technology*, 9(2) :161–180.
- [Marne et al., 2012a] Marne, B., Wisdom, J., Huynh-Kim-Bang, B., and Labat, J.-M. (2012a). A design pattern library for mutual understanding and cooperation in serious game design. In *Intelligent tutoring systems*, pages 135–140. Springer.
- [Marne et al., 2012b] Marne, B., Wisdom, J., Huynh-Kim-Bang, B., and Labat, J.-M. (2012b). The six facets of serious game design : a methodology enhanced by our design pattern library. In *21st Century Learning for 21st Century Skills, EC-TEL 2012 proceedings*, pages 208–221.
- [Melero et al., 2015] Melero, J., El-Kechaï, N., and Labat, J.-M. (2015). Comparing Two CbKST Approaches for Adapting Learning Paths in Serious Games. *Design for Teaching and Learning in a Networked World*, pages 211–224.
- [Michael and Chen, 2005] Michael, D. R. and Chen, S. L. (2005). *Serious games : Games that educate, train, and inform*. Muska & Lipman/Premier-Trade.
- [Moreno-Ger et al., 2008] Moreno-Ger, P., Martínez-Ortiz, I., Sierra, J. L., and Fernández-Manjón, B. (2008). A content-centric development process model. *Computer*, 41(3) :24–30.
- [Muller, 2003] Muller, M. J. (2003). The Human-computer Interaction Handbook. pages 1051–1068. L. Erlbaum Associates Inc., Hillsdale, NJ, USA.
- [Norman and Draper, 1986] Norman, D. A. and Draper, S. W. (1986). User centered system design. *Hillsdale, NJ*, pages 1–2.
- [Paquette et al., 1999] Paquette, G., Aubin, C., and Crevier, F. (1999). MISA, A knowledge-based method for the engineering of learning systems. *Journal of Courseware Engineering*, 2(63-78) :202.
- [Paquette et al., 1997] Paquette, G., Crevier, F., Aubin, C., Rocheleau, J., Paquin, C., and Léonard, M. (1997). Méthode d'ingénierie d'un système d'apprentissage. *Revue Informations In Cognito*, 8 :1997.
- [Pernin and Lejeune, 2004] Pernin, J.-P. and Lejeune, A. (2004). Dispositifs d'apprentissage instrumentés par les technologies : vers une ingénierie centrée sur les scénarios. In *Technologies de l'Information et de la Connaissance dans l'Enseignement Supérieur et de l'Industrie*, pages 407–414.
- [Pires Da Rocha et al., 2016] Pires Da Rocha, S., Lemarchand, S., Vermeulen, M., Lejeune Lopez, G., Portillo, C., Moreau, E., Richou, K., and Grousseau, C. (2016). Ecole d'hiver en pédagogie, carrefour du développement des enseignants-chercheurs de l'Institut MinesTélécom. Lausanne, Switzerland.

- [Quelennec et al., 2010] Quelennec, K., Vermeulen, M., Narce, C., and Baillon, F. (2010). De l'industrialisation à l'innovation pédagogique avec une chaîne éditoriale. In *TICE 2010*, Nancy, France.
- [Reimann et al., 2013] Reimann, P., Kickmeier-Rust, M., and Albert, D. (2013). Problem solving learning environments and assessment : A knowledge space theory approach. *Computers & Education*, 64 :183–193.
- [Rowe et al., 2011] Rowe, J. P., Shores, L. R., Mott, B. W., and Lester, J. C. (2011). Integrating learning, problem solving, and engagement in narrative-centered learning environments. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 21(1-2) :115–133.
- [Sanchez et al., 2015] Sanchez, E., Emin-Martinez, V., and Mandran, N. (2015). Jeu-game, jeu-play, vers une modélisation du jeu. Une étude empirique à partir des traces numériques d'interaction du jeu Tamagocours. 22.
- [Sanchez and Monod-Ansaldi, 2015] Sanchez, E. and Monod-Ansaldi, R. (2015). Recherche collaborative orientée par la conception. *Education & didactique*, 9(2) :73–94.
- [Schwaber, 2004] Schwaber, K. (2004). *Agile project management with Scrum*. Microsoft press.
- [Simon, 2004] Simon, H. A. (2004). *Les Sciences de l'artificiel*. Folio, Paris, Éd. rev. et complétée. edition.
- [Sokovic et al., 2010] Sokovic, M., Pavletic, D., and Pipan, K. K. (2010). Quality improvement methodologies–PDCA cycle, RADAR matrix, DMAIC and DFSS. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 43(1) :476–483.
- [Tchounikine, 2002] Tchounikine, P. (2002). Pour une ingénierie des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain. *Revue I3 - Information Interaction Intelligence*, 2 (1) :59–95.
- [Toussaint et al., 2017] Toussaint, B.-M., Luengo, V., and Francis, J. (2017). Analyse de connaissances perceptivo-gestuelles dans un Système Tutoriel Intelligent. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation (STICEF)*.
- [Vermeulen, 2016] Vermeulen, M. (2016). Un modèle formel de jeux sérieux de type étude de cas pour l'enseignement supérieur : le modèle DISCO. In *RJC'EIAH 2016*, Actes des 6èmes Rencontres Jeunes Chercheurs en EIAH, Montpellier, France.
- [Vermeulen et al., 2015] Vermeulen, M., Fleury, A., Fronton, K., and Laval, J. (2015). Les ALPES : Approches agiLes Pour l'Enseignement Supérieur. In *Colloque Questions de Pédagogie pour l'Enseignement Supérieur (QPES 2015)*, Brest, France.
- [Vermeulen et al., 2017a] Vermeulen, M., Guigon, G., Mandran, N., and Labat, J.-M. (2017a). L'enseignant au coeur de la conception de learning games : le modèle DISC. In *EIAH 2017 - 8ème Conférence Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*, Strasbourg, France.
- [Vermeulen et al., 2017b] Vermeulen, M., Guigon, G., Mandran, N., and Labat, J.-M. (2017b). Teachers at the heart of the learning games design : the DISC model. In *IEEE ICALT 2017*, Timisoara, Romania.

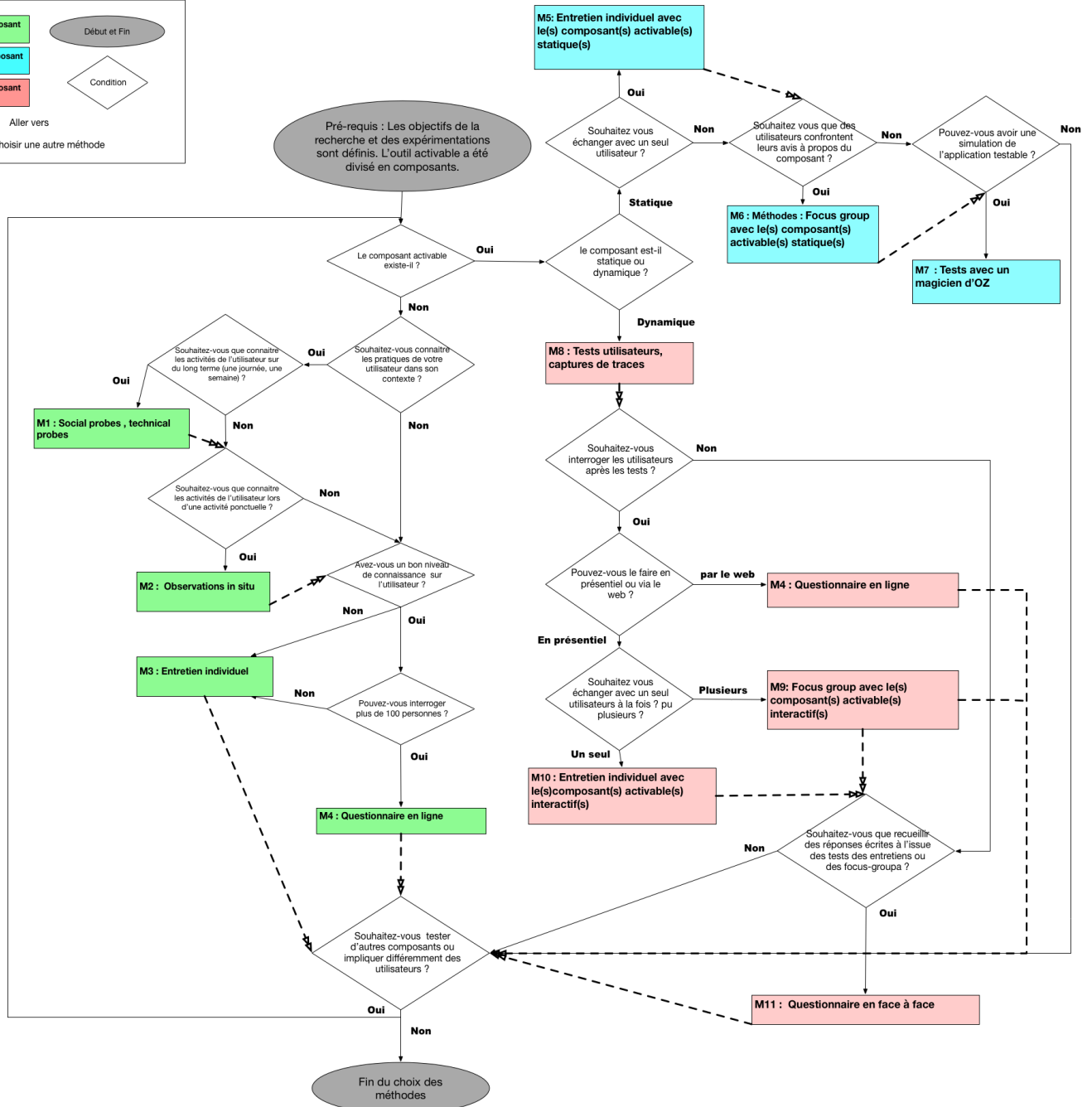
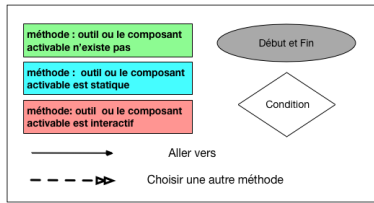
- [Vermeulen et al., 2017c] Vermeulen, M., Laval, J., Serpaggi, X., and Pinot, R. (2017c). Soyez agiles dans les A.L.P.E.S. ! Une pédagogie en mode agile. In *9ème Colloque Questions de Pédagogie dans l'Enseignement Supérieur (QPES 2017)*, Grenoble, France.
- [Vermeulen et al., 2016a] Vermeulen, M., Mandran, N., and Labat, J.-M. (2016a). Chronicle of a scenario graph : from expected to observed learning path. In *EC-TEL 2016, Adaptive and Adaptable Learning*, Lecture Notes in Computer Science, pages 321–330, Lyon, France. Springer International Publishing.
- [Vermeulen et al., 2016b] Vermeulen, M., Mandran, N., and Labat, J.-M. (2016b). DISCO, a Formal Model of Serious Games to Help Teachers at the Design Stage. In *Doctoral Consortium (DCCSEDU 2016)*, pages 3–8.
- [Viau, 2001] Viau, R. (2001). La motivation des élèves : pourquoi s' en préoccuper ? et comment. In *Colloque du Conseil Provincial de l'Association des Enseignantes et des Enseignants Francophones du Nouveau-Brunswick (AEFNB)*, Nouveau-Brunswick.
- [Vygotsky, 1980] Vygotsky, L. S. (1980). *Mind in society : The development of higher psychological processes*. Harvard university press.
- [Wang and Hannafin, 2005] Wang, F. and Hannafin, M. J. (2005). Design-based research and technology-enhanced learning environments. *Educational technology research and development*, 53(4) :5–23.
- [Yusoff, 2010] Yusoff, A. (2010). *A conceptual framework for serious games and its validation*. PhD thesis, University of Southampton.

Annexe A

Logigramme proposé par THEDRE pour définir les protocoles de recueil de traces auprès des utilisateurs

Ce logigramme a permis la définition des protocoles de recueil de traces pour les expérimentations relatées dans les chapitres 4 et 5.

Logigramme pour le choix des méthodes et préconisations pour leur mise en œuvre (d'après THEDRE)



M1 : Social Probes, technical probes Effectif préconisé entre 6 et 20 personnes de profils différents Données produites : audio, video, documents du terrain, carnet de bord Analyse qualitative : annotations, analyse thématique <i>Exemple : Pendant une semaine de travail, toutes les demies-journées les jardiniers enregistrent sur un enregistreur audio ce qu'ils ont fait comme activité et les problèmes qu'ils ont rencontré</i> M	M2 : Observations in situ Effectif préconisé entre 6 et 20 personnes de profils différents Données produites : audio, video, documents du terrain Analyse qualitative : annotations, analyse thématique <i>Exemple : observer des jardiniers pendant leur travail de contrôle des arbres dans un jardin botanique</i> M	M3: Entretien individuel Effectif préconisé entre 6 et 20 personnes de profils différents Données produites : audio, video, documents du terrain, audio, video, documents du terrain, schémas, questions fermées Analyse qualitative : annotations, analyse thématique <i>Exemple : interroger des jardiniers sur la manière de faire leur travail</i> qL
M4 : questionnaire en ligne Effectif préconisé : minimum de 100 personnes, utiliser des méthodes d'échantillonnage pour garantir la 'représentativité' Données produites : réponse à des questions Analyse quantitative : statistiques <i>Exemple : Quantifier si les pratiques métiers des jardiniers sont fréquentes ou non</i> qT	M5 : Entretien individuel avec le(s) composant(s) activable(s) statique(s) Effectif préconisé entre 6 et 20 personnes de profils différents Données produites : audio, video, documents du terrain, schémas Analyse qualitative : annotations, analyse thématique <i>Exemple : interroger des jardiniers sur une maquette papier</i> qL	M6 : Focus group avec le(s) composant(s) activable(s) statique(s) Effectif préconisé 8 à 10 personnes par focus-group, à répéter au minimum 2 fois Données produites : audio, video, documents du terrain Analyse qualitative : annotations, analyse thématique <i>Exemple : interroger un groupe de jardiniers sur une maquette papier</i> qL
M7 : Tests avec un magicien d'OZ Effectif préconisé : minimum 6 personnes par profil (référence L.Nielsen 1996) Données produites : audio, video, traces d'activités du simulateur Analyse qualitative et quantitative : annotations, analyse thématique, statistique <i>Exemple : un jardinier teste en laboratoire une simulation de l'application mobile</i> M	M8 : Tests utilisateurs, captures de traces Effectif préconisé : minimum 6 personnes par profil (référence L.Nielsen 1996), Utiliser des méthodes d'échantillonnage et de plan d'expériences Données produites : traces d'activités, mesures de performance, d'erreur. Analyse quantitative : Tests statistiques, modélisation, clustering <i>Exemple : faire utiliser l'application mobile de manière individuelle pour prendre des photos des arbres</i> qT	M9 : Focus group avec le composant activable interactif Effectif préconisé 8 à 10 personnes par focus-group, à répéter au minimum 2 fois Données produites : audio, video, documents du terrain Analyse qualitative : annotations, analyse thématique <i>Exemple : interroger un groupe de jardiniers sur l'application mobile qu'ils ont utilisée</i> qL
M10 : entretien individuel avec le composant activable interactif Effectif préconisé entre 6 et 20 personnes Données produites : audio, video, documents du terrain, schémas, questions fermées Analyse qualitative : annotations, analyse thématique <i>Exemple : interroger un de jardinier sur l'application mobile qu'il a utilisée</i> qL	M11 : questionnaire en face à face suite à des tests utilisateurs Effectif préconisé : minimum 6 personnes par profil (référence L.Nielsen 1996) Données produites : réponses à un questionnaire pour mesurer l'utilisabilité (p.ex. SUS Brooke 1993) Analyse quantitative : Dénombrement (pas de statistique car les effectifs sont trop faibles) <i>Exemple : mesurer l'utilisabilité de l'application par les jardiniers après qu'ils fait le tour du jardin pour prendre les arbre en photos</i> qT	qT Méthodes Quantitatives qL Méthodes Qualitatives M Méthodes Mixtes : production de données qualitatives et quantitatives

Annexe B

Guide pour la définition d'un protocole expérimental selon THEDRE

Le document présenté ici a été utilisé pour définir le protocole expérimental mené avec l'outil activable "Missions à Emission" à l'ESTP au printemps 2017.

Protocole Expérimental		
Catégorie	Éléments à renseigner	Description de l'élément
Suivi du document	Date de création : 24 janvier 2017	Date à laquelle le document est créé
	Dates de modification	Dates des modifications successives du document
	auteur(s) du document : Mathieu Vermeulen (méthodologue, chercheur)	Acteurs internes : Nom et rôle
Objectifs	Nom de l'expérimentation : Usage du learning game conçu avec le modèle DISC "Missions à Émosson" en condition réelle sur l'ensemble de la promotion d'élèves ingénieurs de l'ESTP sur préconisation d'un enseignant non auteur	Donner un nom à l'expérimentation
	Objectif de l'expérimentation : - Observer l'adoption d'un LG par un enseignant non auteur - Recueillir les traces d'usage des étudiants - Recueillir les sentiments des étudiants vis-à-vis de l'usage du LG	Décrire à quoi cette expérimentation va servir
	Questions ou hypothèses : - Le LG (learning gamebook conçu avec DISC) est-il aisément adopté par un enseignant non-auteur ? intégrable au sein d'un cursus présentiel ? - Quel est le comportement des étudiants au sein du LG (scénario observé) ? - Le LG comporte-t-il des éléments à améliorer ?	Indiquer les questions et les hypothèses qui devront trouver des éléments de réponses lors de cette expérimentation
Outils et composants activables	Liste des composants à construire ou à évaluer : Le LG "Missions à Émosson" conçu avec le modèle DISC	Lister les différents composants de l'outil activable qui vont être construits ou évaluer lors de l'expérimentation.
	Etat des composants : - Composant dynamique et manipulable - Disponible sur Internet après identification sur le LMS Moodle - Utilisation du LG depuis les PC (portable ou non) des étudiants	Indiquer l'état des composants et comment l'utilisateur peut les utiliser lors de l'expérimentation (p.ex., statique, dynamique, non manipulable)
Production des données	Méthodes de production : - Données quantitatives via le LMS Moodle et l'API Moodle-Topaze (Plug-in Scormlite) - Données qualitatives via un questionnaire donné en fin de session	Indiquer le type de méthode choisie (qualitatives, quantitative ou mixtes). Préciser

		les méthodes de production utilisées (p.ex., questionnaire, tests utilisateurs, construction de maquettes)
	Matériel technique : LMS Moodle avec plug-in Moodle-Topaze	Indiquer le matériel technique nécessaire à avoir pour la capture des données (p.ex., caméra, enregistreur)
	Matériel expérimental - Installation d'une instance de Moodle - Intégration du LG - Questionnaire à chaud	Lister le matériel expérimental à construire pour réaliser l'expérimentation (p.ex., présentation, questionnaire)
	Matériel et données produites : - Fichier CSV contenant les données de connexion, temps, étapes vues, etc. des étudiants - Fichiers CSV contenant les réponses au questionnaire	Indiquer tout le matériel et les données produits lors de cette passation (schéma, audio, traces)
Utilisateurs	Nombre d'utilisateurs : 609 étudiants	Indiquer le nombre d'utilisateurs prévus pour cette passation.
	Profil des utilisateurs : Élèves ingénieurs de niveau L3 : mise en situation au travers du LG, mobilisation des compétences vues en cours présentiel en amont de l'usage du LG, auto-évaluation	Indiquer qui sont les utilisateurs qui vont être mobilisés et pourquoi
	Lieu de passation : depuis les PC portables ou fixes des étudiants, depuis leur chambre ou dans l'établissement	Indiquer le lieu où la passation aura lieu (p.ex., in lab, in situ)
	Recrutement : Passage obligatoire dans la formation de l'ESTP (L3)	Indiquer comment le recrutement des utilisateurs est fait
	Mode passation : seuls	Indiquer si les utilisateurs sont consultés seuls ou en groupe
	Ethique et déontologie : Déclaration à la CNIL pour le LMS Moodle à propos des données des étudiants	Indiquer les démarches

		auprès de la CNIL ou d'un comité d'éthique pour déclarer l'expérimentation
Planning	Planning 1^{er} février au 26 février 2017 : création de l'instance Moodle, inscription des étudiants, intégration du LG, écriture du questionnaire 28 février au 15 avril 2017 : accès au LG 18 avril 2017 : extraction des données quantitatives, création du fichier CSV 17 au 24 avril 2017 : accès au questionnaire obligatoire 24 avril 2017 : extraction des réponses au questionnaire	Indiquer à gros grain les étapes de l'expérimentation. (un planning précis des jours et dates des passations est aussi établi).
Analyse des données	Outils de codage	Lister les outils nécessaires pour coder les données (p.ex., grille d'annotation)
	Méthodes et outils d'analyse de données Détection des séquences fréquentes dans les chemins observés	Lister les outils et méthodes d'analyse pressentis pour analyser les données. Préciser le plan de traitement prévisionnel

Annexe C

Scénario de l'étude de cas de la Batiaz du *learning game* MaE

Scénario de l'étude de cas co-construit par l'enseignant auteur et l'ingénieur pédagogique. Les traits verts indiquent un bon choix, les rouges un mauvais choix.

La Bâtiaz

Niveau 2: Fluides Réels

Commencer cette mission

→ Voir la carte

Commençons

Je calcule les pertes de charge

1. num: 10,77

2. num: 6,43

J'utilise les équations de Navier Stokes

voir la carte

Ça donne quoi?

On continue?

voir la carte

OK, avançons

Je détermine le profil des vitesses

Je calcule la différence de pertes de charge...

5. num: 4,34

6. num: 556000

7. num: 881712

Je veux représenter ma chance



Bilan

c'est juste?

→ 11mh...

Oui

8. qcm: 2

Alors...

verdict?

Non

9. qcm: 2

c'est correct?

c'est bon?

C'est déjà fini?

(+15)

(+1)

c'est la fin?

(+10)

C'est fini?

(+1) (+2) (+1) (-1)

Annexe D

Extrait du fichier anonymisé de traces des apprenants du *learning games* “Estimation du bien-être en entreprise” (EBE)

Traces recueillies du 7 au 18 mars 2016 pour les apprenants inscrits à la première session du *MOOC* “Statistique pour l'ingénieur” disponible sur FUN MOOC. Ces traces représentent le chemin pris par les apprenants au sein du jeu EBE (le chiffre correspond à l'identifiant unique de l'étudiant et le code immédiatement à sa droite représente le premier pas visité par l'apprenant).

4826 7 X AT L C N Z AE
4827 39 X AT L C N Z AE AR AE AR AE G AE D AE AV AO W AL AX C AX C Y
AE AV AO W AL AX I J AS I J AY AB AB AB
4829 2 X X
4833 33 X AT L C Y AE AR AE G AE D AE AV AO W AL AX I J AY AB AC AU
AF AI AA H O AW AW AW T P
4834 24 X AT L C N Z AE AR AE AV AO W AL AX I J AS I J AY AB AC AU
AF
4837 1 X
4839 34 X AT L C N Z AE G AE D AE AR AE AV AO W AL AX I J AY AB AC
AU AF AI AA H O AW AW AW T P
4840 36 X AT L C Y AE AV AP AV AO W AJ AK AY AL AX I J AS I J AU AB
AC AU AF AI AA AA H O AW AW AW T P
4845 11 X AT L C Y AE D AE G AE AV
4847 14 X AT L C Y AE AV AP AV AO W AJ AK AU
4849 29 X AT L C Y AE AV AV AO W AL AL AX I J AY AB AC AU AF AI AA H
O AW AW AW T P
4851 2 X AT
4854 44 X X AT AT L C C Y AE AV AV AO W AJ AK A AJ AK AU AL AX AX I
J AY AB AC AU AF AI AA H O AW AW AW T P Q AG P Q AU AG
4858 14 X AT L C Y AE AR AE AV AP AV AO W AJ
4862 8 X AT L C N Z AE AR
4863 35 X AT L C N Z AE AV AQ AV AP AV AO W AL AX I J AY AB AC AU AF
AI AA H O AW AW AW T P Q AG P
4865 17 X AT L C C N Z AE AV AP AV AO W AJ AK A AJ
4873 37 X AT L C N Z AE AR AE D AE G AE AV AP AV AO W AL AX I J AS I
J AU AB AC AU AF AI AA H O AW AW AW
4881 7 X AT L C Y AE AV
4882 46 X AT L C N Z AE AR AE AV AP AV AE D AE D AE G AE AV AO W AL
AX I J AY AB AC AU AF AI AA H O AW AW AW T P Q AG P Q AY AG
4883 1 X
4884 4 X AT L C
4885 8 X AT L C N Z AE D
4888 39 X AT L C N Z AE AV AP AV AO W AJ AK A AJ AK AY AL AX I J AS
I J AU AB AC AU AF AI AA H O AW AW AW T P
4892 26 X AT L C N Z AE AV AP AV AO W AJ AK AY AL AX I J AS I J AY
AB AC AU
4897 1 X
4899 27 X AT L C Y AE AR AE AV AP AV AE D AE G AE AR AE AV AO W AL
AX I J AS I
4901 18 X AT L C Y AE AD AE AV AP AV AQ AV AO W AJ AK AU
4902 2 X AT
4904 21 X AT L C N Z AE AR AE AV AO W AL AX I J AS I J AY AB
4907 6 X AT L C Y AE
4908 1 X
4917 20 X AT L C N Z AE AR AE AR AE AV AO W AL AX I J AY AB
4919 39 X AT L C N Z AE AD AE D AE G AE AR AE AV AO W AL AX I J AS I
J AY AB AC AU AF AI AA H O AW AW AW T P
4921 27 X AT L C Y AE AR AE AV AE D AE G AE AV AQ AV AO W AL AX I J
AY AB AC AU
4922 4 X AT L C
4926 25 X AT L C N Z AE AR AE G AE D AE AV AO W AJ AK A AJ AK AU AL
AX I
4928 13 X AT L C Y AE AV AO W AJ AK A AJ

Annexe E

Questionnaire d'évaluation du *learning game* MaE

Questionnaire d'évaluation du *learning game* MaE demandé aux étudiants de l'ESTP immédiatement après l'utilisation du jeu. Le questionnaire était obligatoire et réalisé en ligne via le *LMS* Moodle d'IMT Lille Douai.

Questionnaire d'évaluation à chaud du *learning game* Les ECSPER : Missions à Emosson

Auteurs : Jean-Luc Wojkiéwicz, Carole Portillo, Gaëlle Guigon, Mathieu Vermeulen

Vous

1. Vous êtes : Un homme, Une femme
2. De manière générale aimez-vous jouer ? Tout à fait d'accord, Plutôt d'accord, Indécis, Plutôt pas d'accord, Absolument pas d'accord
3. Quels jeux préférez-vous ? (ouvert)
4. Vous préférez travailler : Seul, En groupe

Viabilité, motivation et contenu

5. La thématique du jeu se trouve-t-elle dans les contenus en plus de l'histoire de fond ? Oui, Non
6. Avez-vous facilement pris en main le jeu ? Oui, Non
7. Les feedbacks (retours et informations suite à vos réponses) ont-ils permis d'estimer votre progression (échec/victoire) ? Oui, Non
8. Avez-vous compris rapidement et clairement les objectifs à atteindre dans chaque mission ? Oui, Non
9. Les mécaniques de jeu sont-elles facilement compréhensibles (règles, interactions possibles) ? Oui, Non
10. Une fois que vous avez commencé à jouer, avez-vous eu envie de continuer ? Oui, Partiellement, Non
11. La difficulté vous a-t-elle semblé adaptée ? Oui, Partiellement, Non
12. Les missions vous ont-elles semblé motivantes ? Oui, Partiellement, Non
13. Les éléments scénaristiques et graphiques ont-ils créé un univers motivant ? Oui, Partiellement, Non
14. Avez-vous aimé jouer à ce jeu ? Oui, Non
15. Le contenu pédagogique est-il utile pour comprendre certaines étapes du jeu ? Oui, Non
16. Le jeu permet-il un apprentissage ou une découverte de contenus scientifiques (ou techniques) ? Oui, Non
17. Comment estimez-vous la difficulté des questions ? Très facile, Facile, Moyennement facile, Difficile, Très difficile
18. Avez-vous trouvé qu'il y avait des aspects ludiques ? Oui, Non
19. Comment estimez-vous la durée du jeu ? Adaptée, Trop longue, Trop courte
20. Le jeu vous motive-t-il pour la matière ?? Oui, Moyennement, Non
21. Le jeu vous motive-t-il pour approfondir certaines notions ? Oui, Moyennement, Non
22. Le jeu vous a-t-il permis de renforcer vos connaissances ? Oui, Partiellement, Non
23. Le jeu vous a-t-il permis de mieux mémoriser les notions fondamentales du cours (par rapport à un TD classique) ? Oui, Partiellement, Non
24. Travailler sur des cas réels vous motive-t-il plus que des exercices traditionnels ? Oui, Partiellement, Non

Pour la suite...

25. Préférez-vous une version de ce module avec uniquement les questions (sans mécanisme de jeu) ? Oui, Non
26. Qu'avez-vous aimé dans ce jeu ? (1500 caractères)
27. Que n'avez-vous pas aimé ? (1500 caractères)
28. Les feedbacks (retours et informations suite à vos réponses) étaient : Adaptés à la réalité, Pas assez détaillés par rapport à la réalité, Trop détaillés par rapport à la réalité
29. Le découpage du jeu en missions vous a-t-il aidé à terminer le jeu ? Oui, Partiellement, Non
30. Le tableau de bord permet de situer votre niveau en fonction des thèmes : Tout à fait d'accord, Plutôt d'accord, Indécis, Plutôt pas d'accord, Absolument pas d'accord
31. Quelles améliorations aimeriez-vous voir pour une prochaine version ? (1500 caractères)

Annexe F

Extrait du fichier anonymisé de traces des étudiants de l'ESTP du *learning game* “Missions à Emosson”

Traces recueillies du 28 février au 15 avril 2017 pour les étudiants de l'ESTP du *learning game* MaE disponible sur le LMS Moodle de l'IMT Lille Douai. Ces traces représentent entre autre les pas visités par les apprenants au sein du jeu :

id identifiant de l'étudiant ;

pas titre du pas visité ;

type type de pas : Expositoire (contenu), Evaluation (activité), Navigation (choix de l'étude de cas), NA (accès aux supports de cours) ;

temps en s temps passé en seconde sur le pas.

id	pas	type	temps en s
3	Introduction	Expositoire	15
3	Règles du jeu	Expositoire	7
3	Suite	Expositoire	6
3	Découvrir la carte	Navigation	6
3	Plan du barrage	Navigation	3
3	Le barrage	Expositoire	4
3	C'est parti !	Expositoire	16
3	NA	NA	5
3	C'est parti !	Expositoire	11
3	Oui, bien sûr !	Expositoire	5
3	Je suppose plutôt qu'il s'agit d'un fluide parfait	Evaluation	67
3	Je suppose plutôt qu'il s'agit d'un fluide parfait	Evaluation	7
3	Bien joué	Expositoire	9
3	Explorer la salle des maquettes	Navigation	6
3	Historique du site	Expositoire	5
3	Explorer la salle des maquettes	Navigation	32
3	Chemin lumineux	Expositoire	14
3	Explorer la salle des maquettes	Navigation	10
3	Historique du site	Expositoire	6
3	NA	NA	2
3	Historique du site	Expositoire	3
3	Explorer la salle des maquettes	Navigation	3
3	Schéma hydraulique	Expositoire	54
3	Je décide de cumuler les hauteurs de chaque chute et je fais le calcul avec un débit moyen.	Evaluation	20
3	Je décide de cumuler les hauteurs de chaque chute et je fais le calcul avec un débit moyen.	Evaluation	6
3	Alors ?	Expositoire	17
3	Donner les résultats	Expositoire	9
3	J'ai une explication	Evaluation	155
3	J'ai une explication	Evaluation	3
3	Un avis ?	Expositoire	9
3	J'ai une explication	Evaluation	1
3	J'ai une explication	Evaluation	7
3	J'ai une explication	Evaluation	2
3	C'était ça ?	Expositoire	34
3	Fin de la mission	Expositoire	19
3	NA	NA	2
3	NA	NA	23
3	NA	NA	3
3	Voir la carte	Navigation	18
3	Bassin de compensation du Châtelard	Expositoire	8
3	En route !	Expositoire	10
3	Commencer !	Expositoire	16
3	J'utilise la relation de Bernoulli en régime non permanent	Evaluation	7
3	J'utilise la relation de Bernoulli en régime non permanent	Evaluation	4
3	Une impression ?	Expositoire	12
3	Allez, on continue !	Expositoire	12
3	Une rupture de la conduite et l'arrêt de la centrale de la Bâtiaz	Evaluation	134
3	Allez, on continue !	Expositoire	28
3	Une rupture de la conduite et l'arrêt de la centrale de la Bâtiaz	Evaluation	10
3	Une rupture de la conduite et l'arrêt de la centrale de la Bâtiaz	Evaluation	2
3	Alors alors alors ?	Expositoire	6
3	On continue !	Expositoire	35
3	Un système d'ondes est généré	Expositoire	11
3	Qu'en pense le directeur ?	Expositoire	12

3 Vous avez d'autres questions ?	Expositoire	24
3 Oh !	Expositoire	23
3 Une surprise vous attend !	Expositoire	11
3 Voir la carte	Navigation	37
3 Argentière	Expositoire	18
3 Utiliser le ticket d'hélicoptère	Expositoire	24
3 Monter dans l'hélicoptère	Expositoire	25
3 Débuter la mission	Expositoire	41
3 Bien sûr !	Expositoire	14
3 Je détermine le profil des vitesses	Evaluation	8
3 Je détermine le profil des vitesses	Evaluation	4
3 Tu en penses quoi ?	Expositoire	7
3 Continuer	Expositoire	18
3 Je calcule le flux de la vitesse	Evaluation	12
3 Je calcule le flux de la vitesse	Evaluation	3
3 Suis-je sur la bonne voie ?	Expositoire	4
3 Allez, on continue !	Expositoire	14
3 J'utilise la section du conduit	Evaluation	6
3 J'utilise la section du conduit	Evaluation	3
3 C'est ça ?	Expositoire	11
3 J'utilise la section du conduit	Evaluation	2
3 C'est ça ?	Expositoire	7
3 Il y a autre chose à chercher ?	Expositoire	8
3 Félicitations !	Expositoire	8
3 Voir la carte	Navigation	14
3 La Bâtiaz	Expositoire	15
3 Commencer cette mission	Expositoire	5
3 Commençons	Expositoire	13
3 Je calcule les pertes de charge pour la galerie bétonnée ou non	Evaluation	14
3 Je calcule les pertes de charge pour la galerie bétonnée ou non	Evaluation	2
3 On continue ?	Expositoire	3
3 Ok, avançons	Expositoire	9
3 Je calcule la différence de pertes de charge entre la galerie bétonnée ou non	Evaluation	23
3 Je calcule la différence de pertes de charge entre la galerie bétonnée ou non	Evaluation	3
3 C'est juste ?	Expositoire	8
3 Bilan ?	Expositoire	19
3 Oui	Evaluation	7
3 Oui	Evaluation	3
3 Verdict ?	Expositoire	6
3 C'est déjà fini ?	Expositoire	8
3 Encore une surprise !	Expositoire	11
3 Voir la carte	Navigation	72
3 Les Corbes	Expositoire	20
3 Voir la carte	Navigation	2
3 Centrale de Vallorcine	Expositoire	20
3 Allons-y !	Expositoire	11
3 Ok, je m'en charge !	Expositoire	13
3	4 Expositoire	6
3 Nouveau problème...	Evaluation	32
3 Nouveau problème...	Evaluation	4
3 Vite, la suite !	Expositoire	8
3 Régime turbulent	Expositoire	8
3 Qu'en est-il des pertes de charge ?	Evaluation	27
3 Qu'en est-il des pertes de charge ?	Evaluation	3
3 Tu confirmes ?	Expositoire	187

3 Et pour l'énergie ?	Evaluation	10
3 Et pour l'énergie ?	Evaluation	3
3 Terminé !	Expositoire	4
3 Il y a encore du travail ?	Expositoire	9
3 Voir la carte	Navigation	4
3 Centrale de Vallorcine	Expositoire	27
3 Allons-y !	Expositoire	13
3 Centrale de Vallorcine	Expositoire	2
3 Voir la carte	Navigation	2
3 Centrale de Vallorcine	Expositoire	11
3 S'y rendre	Expositoire	13
3 Pas de soucis, je gère la situation !	Expositoire	14
3 Je mesure la pression à 4 points	Expositoire	4
3 Aller plus loin	Expositoire	7
3 Je mesure la pression à 4 points	Expositoire	26
3 NA	NA	10
3 NA	NA	12
3 NA	NA	6
3 NA	NA	3
3 NA	NA	1
3 NA	NA	2
3 Voir la carte	Navigation	1
3 NA	NA	3
3 NA	NA	3
3 NA	NA	4
3 Voir la carte	Navigation	3
3 Bassin de compensation du Châtelard	Expositoire	8
3 En route !	Expositoire	4
4 Introduction	Expositoire	8
4 Règles du jeu	Expositoire	6
4 NA	NA	7
4 NA	NA	12
4 NA	NA	9
4 Règles du jeu	Expositoire	76
4 Suite	Expositoire	15
4 Découvrir la carte	Navigation	11
4 Plan du barrage	Navigation	6
4 Le barrage	Expositoire	17
4 C'est parti !	Expositoire	17
4 Oui, bien sûr !	Expositoire	18
4 Je suppose plutôt qu'il s'agit d'un fluide parfait	Evaluation	27
4 Je suppose plutôt qu'il s'agit d'un fluide parfait	Evaluation	5
4 Bien joué	Expositoire	13
4 Explorer la salle des maquettes	Navigation	7
4 Chemin lumineux	Expositoire	27
4 Explorer la salle des maquettes	Navigation	5
4 Historique du site	Expositoire	12
4 Explorer la salle des maquettes	Navigation	7
4 Schéma hydraulique	Expositoire	5
4 Schéma hydraulique	Expositoire	15
4 Schéma hydraulique	Expositoire	13
4 NA	NA	12
4 NA	NA	4
4 NA	NA	5
4 NA	NA	5

5 Introduction	Expositoire	15
59 Introduction	Expositoire	22
59 Les règles du jeu	Expositoire	3
59 Suite	Expositoire	2
59 Découvrir la carte	Navigation	0
59 Découvrir la carte	Navigation	4
59 Plan du barrage	Navigation	87
59 Le barrage	Expositoire	4
59 C'est parti !	Expositoire	4
59 Oui, bien sûr !	Expositoire	7
59 Je suppose plutôt qu'il s'agit d'un fluide parfait	Evaluation	208
59 Je suppose plutôt qu'il s'agit d'un fluide parfait	Evaluation	4
59 Bien joué	Expositoire	3
59 Explorer la salle des maquettes	Navigation	6
59 Schéma hydraulique	Expositoire	50
59 Je calcule la puissance pour chacune des chutes et je les additionne	Evaluation	121
59 Je calcule la puissance pour chacune des chutes et je les additionne	Evaluation	5
59 En savoir plus	Expositoire	0
59 Donner les résultats	Expositoire	0
59 Donner les résultats	Expositoire	8
59 J'ai une explication	Evaluation	48
59 J'ai une explication	Evaluation	4
59 C'était ça ?	Expositoire	10
59 Fin de la mission	Expositoire	23
59 Une surprise vous attend !	Expositoire	9
59 Voir la carte	Navigation	7
59 Bassin de compensation du Châtelard	Expositoire	6
59 En route !	Expositoire	3
59 Commencer !	Expositoire	17
59 J'utilise la relation de Bernoulli en régime non permanent	Evaluation	617
59 J'utilise la relation de Bernoulli en régime non permanent	Evaluation	3
59 Une impression ?	Expositoire	3
59 Allez, on continue !	Expositoire	66
59 Une rupture de la conduite et l'arrêt de la centrale de la Bâtiaz	Evaluation	47
59 Une rupture de la conduite et l'arrêt de la centrale de la Bâtiaz	Evaluation	3
59 Alors alors alors ?	Expositoire	4
59 On continue !	Expositoire	20
59 Un système d'ondes est généré	Expositoire	4
59 Qu'en pense le directeur ?	Expositoire	18
59 Vous avez d'autres questions ?	Expositoire	0
59 Vous avez d'autres questions ?	Expositoire	15
59 Oh !	Expositoire	3
59 Félicitations !	Expositoire	3
59 Voir la carte	Navigation	217
59 Argentières	Expositoire	19
59 NA	NA	7
59 NA	NA	2
59 Voir la carte	Navigation	8
59 Bassin de compensation du Châtelard	Expositoire	6
59 Voir la carte	Navigation	3
59 La Bâtiaz	Expositoire	7
59 Voir la carte	Navigation	5
59 Centre de secours	Expositoire	12
59 Ok, quelle est la question ?	Evaluation	35
59 Ok, quelle est la question ?	Evaluation	4

Une approche *meta-design* des *learning games* pour développer leur usage.

Résumé : Cette thèse en informatique se situe dans le domaine des Environnements Informatique pour l'Apprentissage Humain (EIAH) et plus précisément dans celui des *learning games*, les jeux sérieux destinés à l'apprentissage. Elle s'intéresse à leur conception, aux outils et modèles pour faciliter celle-ci, et à leur usage.

Pour aborder cette problématique, nous nous appuyons sur le *meta-design*, une approche visant à impliquer fortement les utilisateurs finaux dans la phase de conception mais aussi dans la phase d'usage.

Pour mettre en place cette approche avec les enseignants, que nous considérons comme les utilisateurs finaux des *learning games*, nous proposons différentes itérations d'un modèle de *learning games* simple et représentable pour faciliter la conception collaborative de ces EIAH mais aussi leur réingénierie. Après une première itération, la seconde itération propose un modèle baptisée **DISC** et la méthode de conception associée. Ils ont été testés dans le cadre de la co-conception d'un *learning game* utilisé par des enseignants du supérieur dans le contexte d'un MOOC et utilisé comme une activité en complément d'un cours en présentiel. Pour impliquer les enseignants dans la phase d'usage, nous proposons d'articuler ce modèle avec un outil de visualisation des traces des étudiants pour détecter des séquences d'usage problématiques et ainsi faciliter le processus de réingénierie, les visualisations permettant l'analyse des données recueillies lors de la phase d'usage.

Pour mener ce travail de recherche, nous avons choisi de travailler avec la méthode **THEDRE** qui propose un cycle de recherche itératif soutenu par la remontée d'indicateurs évaluant le processus de recherche tout au long de la méthode. Cette amélioration continue, appuyée sur les expérimentations menées, a permis de valider nos propositions quant au *meta-design* pour les *learning games*.

Mots clés : *learning game*, jeu sérieux, *meta-design*, visualisation de données, EIAH, méthode THEDRE

A meta-design approach of learning games to develop their use.

Abstract : This thesis in computer science is in the field of Technology Enhanced Learning (TEL) and more specifically in the field of Learning Games (LG), serious games dedicated to learning. It deals with their design, tools and models to facilitate it, and their use.

To tackle this problem, we use the meta-design, an approach aiming to strongly involve the end users in the design stage but also in the use stage.

To implement this approach with teachers, whom we consider as end users of LG, we propose different iterations of a simple and representable LG model to facilitate the collaborative design of these TELs, but also their reengineering. After a first iteration, the second iteration propose a model named **DISC** and the associated design method. They were tested in the co-design of a learning game used by teachers of higher education in the context of a MOOC and as an additional activity of a course. To involve teachers in the use stage, we propose to articulate this model with a learners traces visualizations tool to detect problematic pattern and, thus, facilitate the reengineering process of LG, the visualizations allowing traces analysis collected during the use stage.

To carry out this research work, we chose to work with the **THEDRE** method which proposes an iterative research cycle supported by the feedback of indicators evaluating the process throughout the method. This continuous improvement, supported by the experiments, allow us to validate our propositions about the meta-design for the learning games.

Keywords : Learning Game, Meta-Design, Data Visualization, Technology Enhanced Learning, THEDRE method.