



**HAL**  
open science

# Modèles et outils pour la conception de jeux sérieux : une approche meta-design

Bertrand Marne

► **To cite this version:**

Bertrand Marne. Modèles et outils pour la conception de jeux sérieux : une approche meta-design. Informatique. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2014. Français. NNT : 2014PA066536 . tel-01134701

**HAL Id: tel-01134701**

**<https://theses.hal.science/tel-01134701>**

Submitted on 24 Mar 2015

**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.

# Université Pierre et Marie Curie

École doctorale Informatique, Télécommunications et Électronique (Paris)

*Laboratoire d'Informatique de Paris 6 / Équipe MOCAH*

## **Modèles et outils pour la conception de jeux sérieux : une approche meta-design**

Par Bertrand Marne

Thèse de doctorat d'Informatique

Dirigée par Jean-Marc Labat

Présentée et soutenue publiquement le 10 juillet 2014

Devant un jury composé de :

Mme Amal El Fallah Seghrouchni	Professeur (Université Pierre et Marie Curie, Paris), Présidente du Jury
M. Sébastien George	Professeur (Université du Maine), Rapporteur
M. Jean-Marc Labat	Professeur (Université Pierre et Marie Curie), Directeur de thèse
Mme Domitile Lourdeaux	Maître de Conférences HDR (Université de technologie de Compiègne), Examinatrice
M. Jean-Charles Marty	Maître de Conférences HDR (Université de Savoie), Rapporteur
M. Stéphane Natkin	Professeur (Conservatoire national des arts et métiers), Examineur



---

## **Remerciements**

---

Je tiens tout spécialement à remercier Jean-Marc Labat, mon directeur de thèse, pour m'avoir inspiré, soutenu, et guidé tout au long de ces travaux de thèse, ainsi qu'Élisabeth Delozanne pour m'avoir initié à la recherche et préparé avec exigence à commencer une thèse, ainsi que m'avoir aidé tout au long de celle-ci.

Je tiens aussi à remercier les anciens membres de l'équipe MOCAH avec lesquels nos nombreux échanges ont été très fructueux en plus de très agréables. Tout spécialement Benjamin Huyhn-Kim-Bang qui m'a accueilli et fait faire mes premiers pas dans l'équipe, mais aussi Iza Marfisi et Mathieu Muratet.

Évidemment, je veux aussi remercier les membres actuels de l'équipe MOCAH pour les mêmes raisons. Tout spécialement Clément Rouanet avec qui j'ai beaucoup travaillé et qui m'a beaucoup aidé à mettre en place les derniers éléments de ce travail de thèse, et John Wisdom pour son aide précieuse avec l'anglais. Mais aussi, Thibault Carron, Amel Yessad, Naïma El Kechaï, Bruno Capdevila Ibáñez, Pradeepa Thomas, Odette Auzende, Monique Baron, Hélène Giroire, Françoise Le Calvez et François Bouchet.

Je voudrais également remercier les 36 enseignants qui ont accepté de prendre sur leur temps libre pour participer à l'une mes — longues — expérimentations.

Pour finir, je voudrais bien sûr remercier Anne-Zoé d'avoir contribué à me guider dans cette voie, mais aussi de m'avoir supporté et soutenu pendant ces années pas toujours faciles.

Sans vous tous, ce travail n'existerait tout simplement pas.



# Sommaire

Remerciements.....	3
<b>Chapitre 1. Introduction : meta-design et conception multi-expertise pour les jeux sérieux.....</b>	<b>9</b>
I. Contexte de recherche et définitions : Jeux sérieux et métaphore intrinsèque.....	11
II. Problématique d'une conception multi-expertise.....	12
III. Vers une approche du meta-design pour les jeux sérieux.....	13
IV. Questions de recherche et plan de la thèse.....	15
<b>Chapitre 2. Modèle conceptuel et patrons de conception pour les jeux sérieux.....</b>	<b>17</b>
I. Des besoins méthodologiques de conception participative.....	20
II. État de l'art sur les méthodologies de conception.....	23
III. Un cadre conceptuel pour une conception participative : les 6 facettes de la conception des jeux sérieux.....	29
III.1. Des jeux sérieux fondés sur des interactions avec un modèle du domaine.....	29
III.2. Les 6 facettes de la conception des jeux sérieux.....	32
III.2.1. Méthodologie.....	32
III.2.2. Facette 1 : Objectifs pédagogiques.....	33
III.2.3. Facette 2 : Simulation du domaine.....	34
III.2.4. Facette 3 : Interactions avec la simulation.....	35
III.2.5. Facette 4 : Problèmes et progression.....	37
III.2.6. Facette 5 : Décorum.....	38
III.2.7. Facette 6 : Conditions d'utilisation.....	39
III.2.8. Un exemple de workflow pour les 6 facettes.....	40
III.2.9. Récapitulatif des 6 facettes de la conception des jeux sérieux.....	41
IV. Un outil méthodologique à utiliser dans les 6 facettes : les patrons de conception.....	43
IV.1. Les patrons de conception : un vocabulaire pour faciliter la conception participative.....	43
IV.2. État de l'art des bibliothèques de patrons de conception pour les jeux sérieux et de leur collecte.....	44
IV.3. Méthodologie d'extraction des patrons de conception.....	46
IV.4. Bibliothèque de patrons de conception de l'équipe MOCAH.....	46
IV.4.1. Description du langage de patrons utilisé.....	47
IV.4.2. Tableau de synthèse des patrons de conception.....	47
IV.4.3. Exemple 1 : Un temps pour agir, un temps pour réfléchir.....	48
a) Contexte :.....	48
b) Problème :.....	49
c) Forces :.....	49
d) Solution :.....	49
e) Exemples :.....	49
f) Patrons de conception connexes :.....	50
g) Facette :.....	50
IV.4.4. Exemple 2 : Objectifs hiérarchisés et pédagogiques.....	50
a) Contexte :.....	50
b) Problème :.....	50
c) Forces :.....	51
d) Solution :.....	51
e) Exemples :.....	52
f) Patrons de conception connexes :.....	53
g) Facette :.....	53
V. Évaluation qualitative et discussion sur ces outils méthodologiques.....	54
V.1. Mise à l'épreuve avec des concepteurs individuels.....	54
V.2. Mise à l'épreuve dans une conception participative.....	56
V.3. Évaluation quantitative.....	58
VI. Conclusion sur les outils pour la conception participative dans les jeux sérieux.....	61
<b>Chapitre 3. Modèle formel pour la description des jeux sérieux à étapes.....</b>	<b>63</b>
I. Des besoins d'adaptation pédagogique des jeux sérieux.....	66
II. État de l'art : des fondations pour un modèle de scénarisation pédago-ludique destiné à l'adaptation.....	69
II.1. Décomposition du scénario orientée par les buts à faire atteindre.....	69

II.2. Couplage entre la hiérarchie des objectifs et celle des composants.....	71
II.3. Adaptation dynamique des composants à l'apprenant-joueur.....	72
II.4. Trois caractéristiques principales pour fonder un modèle de scénarios adaptables.....	73
III. MoPPLiq : Un modèle de scénarisation pédago-ludique.....	74
III.1. Des activités discrètes caractérisées par des objectifs.....	74
III.2. Des parcours non linéaires prenant en compte les actions de l'apprenant-joueur.....	78
III.3. Des activités qui s'adaptent en fonction du modèle de l'apprenant-joueur.....	81
III.4. MoPPLiq : un modèle formel et opérationnalisable.....	84
III.4.1. Modèle et méta-modèle en XML pour permettre la lecture et la validation des fichiers MoPPLiq.....	84
III.4.2. Modèle entité-association de MoPPLiq.....	86
III.5. Synthèse sur le modèle MoPPLiq.....	87
IV. Mise à l'épreuve de MoPPLiq.....	88
IV.1. Modélisations de nombreux jeux sérieux.....	88
IV.1.1. Méthodologie de modélisation avec MoPPLiq.....	88
IV.1.2. Protocole de l'évaluation.....	89
IV.1.3. Résultats de l'évaluation et discussion.....	89
a) Résultats.....	89
b) Parcours linéaires.....	90
c) Parcours non linéaires.....	90
d) Problématique des éléments continus (non discrets).....	91
e) Problématique des quantités continues (non discrètes).....	91
f) Activités adaptables.....	92
g) Bilan.....	92
IV.2. Transformation de modèles.....	92
IV.2.1. Transformation depuis le modèle de Legadee.....	93
IV.2.2. Transformation de modèle depuis eAdventure.....	94
IV.2.3. Bilan.....	95
IV.3. Conclusion sur l'évaluation de MoPPLiq.....	96
V. Conclusion sur le modèle MoPPLiq.....	97

## **Chapitre 4. Outil auteur pour l'adaptation pédagogique et la vérification des jeux sérieux...99**

I. Présentation d'APPLiq.....	102
I.1. Un affichage des parcours pédago-ludiques destiné aux enseignants.....	102
I.2. Construire et modifier des parcours pédago-ludiques.....	104
I.3. Assistance par la détection des incohérences.....	105
I.4. Compensation automatique des incohérences ludiques avec les « activités tampon ».....	108
I.5. Cas d'utilisation d'APPLiq.....	109
I.6. Scénario d'utilisation d'APPLiq et méthode de création de nouveaux parcours.....	112
II. Architecture logicielle d'APPLiq.....	114
II.1. Quelques choix d'implémentation pour APPLiq.....	114
II.2. Quelques choix d'IHM pour APPLiq.....	116
II.3. Particularités du parcours d'un graphe MoPPLiq.....	119
II.3.1. Le graphe de MoPPLiq.....	119
II.3.2. Algorithme de parcours de graphe.....	120
III. Implémentation du modèle MoPPLiq dans les jeux sérieux à étapes.....	122
III.1. Implémentation de « bas niveau ».....	122
III.1.1. Gratification des objectifs travaillés dans une activité.....	123
III.1.2. Détermination de l'état de sortie en fonction des objectifs gratifiés.....	123
III.1.3. Détermination de l'état d'entrée suivant.....	123
III.2. Implémentation de « haut niveau ».....	125
IV. Mise à l'épreuve d'APPLiq.....	126
IV.1. Des jeux sérieux pour mettre à l'épreuve APPLiq et MoPPLiq.....	126
IV.1.1. Jeu sérieux « Défenses Immunitaires ».....	127
IV.1.2. Jeu sérieux « Les Cristaux d'Éhère ».....	128
IV.1.3. Adaptation du jeu sérieux « Google Blockly Maze ».....	129
IV.2. Hypothèses à évaluer et indicateurs utilisés.....	130
IV.2.1. Indicateurs pour mettre à l'épreuve l'hypothèse 1.....	131
IV.2.2. Indicateurs pour mettre à l'épreuve l'hypothèse 2.....	131
IV.2.3. Indicateurs pour mettre à l'épreuve l'hypothèse 3.....	132
IV.2.4. Indicateurs pour les hypothèses 4 et 5.....	132
IV.3. Protocole, recrutement et déroulement de l'expérimentation.....	132

IV.3.1. Protocole de l'expérimentation.....	133
a) Étape 1 : présentation.....	133
b) Étape 2 : Prise en main et évaluation du jeu sérieux.....	133
c) Étape 3 : Examen du parcours pédago-ludique dans APPLiq.....	133
d) Étape 4 : Création d'un parcours pédago-ludique.....	134
e) Étape 5 : Modification d'un parcours sous-optimal.....	134
f) Étape 6 : Bilan.....	134
IV.3.2. Recrutement des participants.....	135
IV.3.3. Biais liés au protocole et au recrutement.....	136
IV.3.4. Déroulement de l'expérimentation.....	136
IV.4. Résultats et discussion.....	138
IV.4.1. Résultats portant sur l'hypothèse 3.....	138
IV.4.2. Résultats portant sur l'hypothèse 2.....	140
IV.4.3. Résultats portant sur l'hypothèse 1.....	146
IV.4.4. Résultats portant sur les hypothèses secondaires 4 et 5.....	150
IV.4.5. Synthèse.....	150
V. Conclusion sur l'adaptation de la scénarisation des jeux sérieux au contexte.....	152
<b>Chapitre 5. Conclusion et perspectives.....</b>	<b>155</b>
I. Objectifs de recherche.....	157
II. Contributions.....	157
III. Limites et perspectives.....	159
<b>Chapitre 6. Bibliographie.....</b>	<b>161</b>
<b>Chapitre 7. Annexes.....</b>	<b>169</b>
I. Fiche récapitulative du langage MOT.....	171
II. Description du jeu sérieux « Les Cristaux d'Éhère ».....	172
III. Description du jeu sérieux « Défenses Immunitaires ».....	174
III.1. Processus de conception et de développement.....	174
III.2. Description du jeu sérieux.....	175
IV. Objectifs pédagogiques du jeu sérieux « Défenses Immunitaires ».....	177
V. Éléments de la simulation des défenses de l'organisme du jeu sérieux « Défenses Immunitaires ».....	179
V.1. Variables dynamiques :.....	179
V.1.1. La santé :.....	179
V.1.2. L'argent :.....	179
V.1.3. Les couleurs :.....	179
V.2. Les microbes (« ennemis ») :.....	180
V.2.1. Les bactéries :.....	180
V.2.2. Les virus :.....	180
V.3. Les défenses :.....	180
V.3.1. Défenses de type « tour » :.....	180
a) Les cellules de cicatrisation :.....	180
b) Les leucocytes macrophages :.....	181
c) Les leucocytes de reconnaissance :.....	181
d) Les leucocytes Lymphocytes B :.....	181
e) Les antibiotiques :.....	182
f) Les antiviraux :.....	182
V.3.2. Défenses de type « globale » :.....	182
a) Les leucocytes Lymphocyte T :.....	182
b) Les antiseptiques :.....	182
c) Thérapie génique antibactérienne :.....	183
d) Le Vaccin :.....	183
V.4. La recherche médicale :.....	183
VI. Diagramme complet du schéma XML de MoPPLiq.....	184
VII. Schéma XML de MoPPLiq.....	185



# 1

## **Chapitre 1. Introduction : meta-design et conception multi-expertise pour les jeux sérieux**



L'objectif à plus long terme de mon travail est de favoriser l'adoption des jeux sérieux par les enseignants. Une étude préliminaire que j'ai menée auprès d'eux<sup>1</sup> m'a conduit à identifier deux verrous principaux : d'une part, une distance conceptuelle entre les enseignants et les concepteurs de jeux vidéo (*game designers*) impliqués dans la conception des jeux sérieux, d'autre part l'impossibilité d'adapter la plupart des jeux sérieux aux contextes pédagogiques spécifiques des enseignants utilisateurs. Mon travail de recherche se situe donc dans la problématique de définir des modèles et créer des outils informatiques pour supporter la conception multi-expertise des jeux sérieux depuis la phase initiale et tout au long de leur utilisation.

Ce chapitre d'introduction présente dans une première section le contexte de ces recherches en proposant notamment la définition de l'expression « jeu sérieux » sur laquelle reposent les travaux présentés. La deuxième section détaille la problématique générale traitée dans cette thèse, et la troisième section introduit l'approche choisie pour traiter cette problématique : la conception participative et le *meta-design*. Enfin, la dernière section présente les questions de recherche qui sont étudiées et l'organisation générale de cette thèse.

## I. Contexte de recherche et définitions : Jeux sérieux et métaphore intrinsèque

---

Le terme de jeu sérieux (*serious game*, mais aussi *learning game*) peut se définir de bien des façons. Par exemple, [Natkin, 2004] donne la définition large suivante :

« [...] l'utilisation des principes et des technologies des jeux vidéo pour des applications qui n'ont pas de caractère strictement ludique [...] »

Menant mes travaux au sein de l'équipe MOCAH (Modèles et Outils en ingénierie des Connaissances pour l'Apprentissage Humain) du LIP 6 (Laboratoire d'Informatique de Paris 6) « l'application » sous-jacente considérée ici est l'apprentissage. Telle quelle, la définition de [Natkin, 2004] englobe aussi des applications sans caractère ludique à condition que les technologies des jeux vidéo soient présentes. Elle englobe également des jeux sérieux à *motivation extrinsèque* [Malone, 1981] dont l'aspect ludique sert de récompense entre deux séquences d'apprentissage plus classiques (comme certains produits qualifiés de « ludo-éducatifs ») et qui selon [Egenfeldt-Nielsen, 2006] relèvent de la perspective behavioriste, et les jeux sérieux à *motivation intrinsèque* que [Egenfeldt-Nielsen, 2006] considère relever du

---

1 Cette étude est décrite dans la section I du Chapitre 2. p.20 et dans la section I du Chapitre 3. p.66.

constructivisme et dans lesquels l'action motivante pour le joueur est le moteur de l'apprentissage. [Fabricatore, 2000] propose une définition différente pour les jeux sérieux ou les jeux vidéo permettant l'apprentissage en caractérisant la **métaphore extrinsèque** pour ceux dans lesquels l'aspect ludique vient en complément de l'apprentissage et la **métaphore intrinsèque** pour ceux dans lesquels l'apprentissage est au cœur de la jouabilité :

« [...] *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 [...]* »

Les jeux sérieux à métaphore intrinsèque restent relativement rares, probablement parce qu'ils sont complexes à concevoir en raison du fort métissage entre les aspects ludiques et les aspects pédagogiques qu'ils supposent. Un des enjeux de recherche dans ce domaine est donc de proposer des modèles et des outils pour faciliter la conception de cette classe de jeux sérieux.

## II. Problématique d'une conception multi-expertise

---

Les jeux sérieux à métaphore intrinsèque sont donc des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH) dont l'efficacité, supposée ou réelle, repose sur l'introduction de plaisirs et de motivations propres aux jeux vidéo au cœur même des interactions de l'apprenant avec le système.

[Tchounikine, 2002] étudie les problématiques de la conception des EIAH et en identifie le principal verrou. Il s'agit de l'articulation entre un espace théorique développé, mais dont la part d'implicite reste importante, et les méthodes générales d'ingénierie qui sont plus explicites et formelles. En s'inspirant des travaux de [Murray, 1999] sur les outils auteurs, il distingue la conception des systèmes EIAH *orientés pédagogie* (de type scénarisation pédagogique) pour lesquels il considère que l'ingénierie est plus développée et formalisée, et les systèmes EIAH *orientés performance* (de type tuteurs intelligents ou micromondes) pour lesquels il considère que les méthodes d'ingénierie ne sont pas encore génériques. Dans les deux cas, les auteurs montrent que les travaux de conception associent des experts multiples, le terme expert étant alors compris comme spécialistes de leurs domaines respectifs. Par exemple, [Tchounikine, 2002] considère que les EIAH (en particulier orientés performance) se situent aux « *carrefours des disciplines* » et nécessitent un travail transdisciplinaire, impliquant des expertises différentes pour fonder une expertise émergente, alors que les travaux de [Paquette et al., 1997], fondés sur l'expérience du LICEF (Laboratoire en Informatique Cognitive et Environnements de Formation), montrent aussi que l'ingénierie des systèmes EIAH orientés pédagogie est multi-expertise.

La difficulté d'une conception multi-expertise est accentuée pour les jeux sérieux, car en plus des spécialistes de l'ingénierie, des domaines à enseigner, et de la pédagogie, elle requiert l'intervention des spécialistes du jeu vidéo.

Ces sont par exemple les *game designers*, chargés de définir les règles et le fonctionnement du jeu, ou les *level designers* chargés de décliner le travail de *gamedesign* dans les différents niveaux que comportent un jeu. Leur expertise est liée à leur but principal : motiver le joueur à jouer.

Les travaux présentés dans cette thèse se situent dans la problématique de l'aspect multi-expertise de la conception des jeux sérieux, notamment ceux qui sont à métaphore intrinsèque. Cette étude s'intéresse à la fois aux phases traditionnelles de conception (c'est-à-dire avant publication), mais aussi aux pratiques de conception qui continuent dans l'usage. Les jeux sérieux ont deux classes d'utilisateurs différents : d'une part, les *apprenants-joueurs* qui sont ceux pour lesquels les propriétés ludiques et éducatives sont conçues, et d'autre part les enseignants et les formateurs qui sont plutôt les prescripteurs des jeux sérieux et par conséquent, bien qu'ils n'en soient pas vraiment les joueurs, en sont aussi des utilisateurs. Les travaux présentés ici seront centrés sur le(s) rôle(s) et la prise en compte de ces derniers comme experts, à la fois dans les phases de conception et au cours des phases d'utilisation. Les perspectives choisies pour étudier les moyens de faciliter la conception multi-expertise initiale et dans l'usage des jeux sérieux sont celles de la *conception participative* et du *meta-design* comme nous allons le voir dans la section suivante.

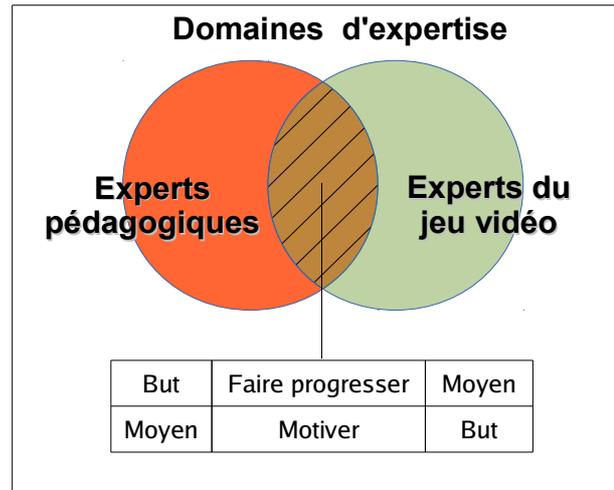
### III. Vers une approche du *meta-design* pour les jeux sérieux

---

[Muller, 2003] propose un travail de synthèse sur la conception participative (*participatory design*) qu'il introduit par la définition suivante :

« *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* »

Cette approche correspond tout à fait à la problématique de la conception multi-expertise en général, et en particulier à celle des jeux sérieux, dans la mesure où elle ambitionne de faire travailler ensemble à la fois des concepteurs d'horizons et de compétences variés et des utilisateurs. Elle implique donc la mise en place de modèles et d'outils de conception capables d'être compris par tous, même s'ils sont abordés différemment et qui servent d'interface entre les vocabulaires, compétences et communautés d'experts : des *objets frontières* [Caron, 2007 ; Bowker & Star, 1999]. Ils sont utilisés pour transformer le fait que les experts aient des connaissances différentes qui éventuellement se chevauchent, la *symétrie de l'ignorance* ou asymétrie des connaissances [Fischer, 2000] (Figure 1), en connaissances opérationnelles et partagées, la *symétrie des connaissances* [Muller, 2003].



**Figure 1 :** Schéma de la symétrie de l'ignorance des experts impliqués dans la conception des jeux sérieux, adapté de [Fischer, 2000].

La conception participative s'intéresse essentiellement aux phases initiales de conception, pourtant [Rabardel, 1995] montre que l'appropriation des artefacts, ou *genèse instrumentale*, constitue aussi une phase active de participation des utilisateurs, postérieure à la conception initiale. Il définit *l'instrumentalisation* comme le fait que les utilisateurs modifient les artefacts pour les adapter à leurs besoins et *l'instrumentation* comme le fait que l'utilisateur lui-même se modifie en apprenant à maîtriser l'artefact.

Le *meta-design* réunit les concepts de conception participative et de genèse instrumentale. [Fischer et al., 2004] le définit ainsi :

« *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.* »

Bien que cette définition semble proche de celle de la conception participative, [Fischer & Herrmann, 2011] en dressent les différences, et nous retenons ici la principale : l'utilisateur final n'est plus seulement co-concepteur pendant les phases initiales qui précèdent la publication de l'artefact, mais peut continuer à assurer ce rôle tout au long de la phase d'utilisation, ce qui contribue à l'instrumentalisation. Ceci est notamment rendu possible grâce à *l'underdesign* que [Fischer et al., 2004] définissent comme :

« *[...] underdesign aims to provide social and technical instruments for the owners of problems to create the solutions [of their problems] themselves at use time.* »

Le *meta-design* dans les jeux sérieux suppose donc une nouvelle approche de la prise en compte de tous les utilisateurs, ce qui implique de mettre en place

un cadre socio-technique spécifique et par conséquent de formaliser les différentes classes d'ingénieries et d'expertises mises en œuvre. Dans le cadre des travaux présentés dans cette thèse, cette approche a été utilisée principalement pour définir des modèles et des outils permettant aux utilisateurs enseignants et formateurs de s'intégrer efficacement lors des phases de conception initiales et pour leur permettre de comprendre (instrumentation) et d'adapter (instrumentalisation) les jeux sérieux à leurs contextes pédagogiques.

D'un point de vue informatique, les approches de la conception participative et du *meta-design* impliquent le développement de cadres conceptuels et de modèles pouvant servir d'objets-frontières et aussi le développement d'outils auteurs qui opérationnalisent ces modèles.

En conséquence, l'étude de la problématique de la conception multi-expertise des jeux sérieux, à la fois pendant les phases initiales et pendant les phases d'utilisation, présentée dans cette thèse s'est faite à travers trois questions de recherches traitées dans les trois prochains chapitres et décrites dans la section suivante.

#### IV. Questions de recherche et plan de la thèse

---

La question de recherche traitée dans le Chapitre 2., porte principalement sur les phases initiales de la conception en cherchant à **définir un modèle conceptuel pour faciliter une conception participative des jeux sérieux en s'axant notamment sur l'inclusion des enseignants et des formateurs.**

Ainsi, la première section du chapitre montre qu'il existe un besoin pour une conception participative dans le domaine des jeux sérieux, notamment afin d'y faciliter l'intégration de propriétés pédagogiques. La section suivante fait un état de l'art des méthodes de conception sur lesquelles je me suis appuyé pour proposer deux contributions détaillées dans les deux sections suivantes. Il s'agit d'une part des *6 facettes de la conception des jeux sérieux* qui est un cadre conceptuel pour définir les phases de conception, mais aussi servir d'objet-frontière pour les différents experts. Il s'agit d'autre part d'une *bibliothèque de patrons de conception pour les jeux sérieux*, conçue et organisée à partir des travaux de l'équipe MOCAH, et destinée à faciliter la conception participative.

Alors que le Chapitre 2. est axé sur la conception participative des jeux sérieux, c'est-à-dire sur les phases initiales de la conception, les Chapitre 3. et Chapitre 4. regroupent les travaux qui portent sur les moyens de conception dans l'usage (instrumentalisation) proposés aux enseignants et aux formateurs. Ces travaux se concentrent sur une classe particulière de jeux sérieux : les jeux sérieux à étapes (c'est-à-dire décomposés en niveaux, exercices, études de cas, etc.).

Le Chapitre 3., est axé sur la seconde question de recherche qui est de **définir un modèle et son méta-modèle, capables de décrire à la fois les aspects**

**ludiques et pédagogiques du scénario d'un jeu sérieux à étapes, et ce dans le but de rendre ce scénario intelligible pour les enseignants (démarche d'instrumentation) et de rendre sa planification manipulable (démarche d'instrumentalisation).** La première section du chapitre présente les résultats d'une étude préliminaire que j'ai menée et qui confirme que les enseignants manifestent le besoin d'adapter la scénarisation pédagogique des jeux sérieux. La seconde section présente un état de l'art de la modélisation de la scénarisation dans les domaines des EIAH, jeux vidéo et jeux sérieux qui sert de fondement à la contribution qui est présentée dans la section suivante. Cette contribution prend la forme d'un modèle nommé *MoPPLiq* et de son méta-modèle. Avant de conclure ce chapitre, l'avant-dernière section présente l'évaluation de *MoPPLiq* sous ses deux aspects : en premier lieu une évaluation par la modélisation du scénario d'une vingtaine de jeux sérieux avec *MoPPLiq*, en second lieu une évaluation par la transformation des modèles issus d'autres outils auteurs de jeux sérieux vers le modèle *MoPPLiq*.

Le Chapitre 4. traite de la troisième question de recherche abordée dans cette thèse, qui est de **définir un outil auteur permettant à des enseignants et des formateurs de manipuler le modèle *MoPPLiq* afin d'adapter les jeux sérieux à leurs besoins et à leur contexte pédagogique (instrumentalisation), tout en maintenant la cohérence du scénario ludique.** Cet outil auteur nommé *APPLiq* implémente le modèle *MoPPLiq* et certains des patrons de conception décrits dans le Chapitre 2.. La première section du Chapitre 4. présente en détail *APPLiq*, c'est-à-dire ses fonctionnalités et son architecture logicielle. La seconde section présente la méthode de validation des scénarios modifiés qui a été implémentée ainsi que le système de compensation automatique des incohérences ludiques détectées. Avant de conclure, la troisième section présente l'évaluation d'*APPLiq* qui a été menée sous forme d'une expérimentation impliquant une vingtaine d'enseignants.

Le dernier chapitre de cette thèse présente mes conclusions sur les travaux menés, ainsi que quelques perspectives de recherche.

# 2

## Chapitre 2. Modèle conceptuel et patrons de conception pour les jeux sérieux

Les recherches abordées dans ce chapitre ont fait l'objet de plusieurs publications :

- Marne B., Huynh-Kim-Bang B., Labat J.-M. « Articulier motivation et apprentissage grâce aux facettes du jeu sérieux ». In : *Actes de la conférence EIAH 2011. Conférence EIAH 2011 (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain)*. Mons, Belgique : Université de Mons, 2011. p. 69-80. (taux d'acceptation : 32 %)
- Capdevila Ibáñez B., Marne B., Labat J. M. « Conceptual and Technical Frameworks for Serious Games ». In : *Proceedings of the 5th European Conference on Games Based Learning. 5th European Conference on Games Based Learning, 2011*. Reading, UK : Academic Publishing Limited, 2011. p. 81-87. (taux d'acceptation : 47 %)
- Marne B., Wisdom J., Huynh-Kim-Bang B., Labat J.-M. « A Design Pattern Library for Mutual Understanding and Cooperation in Serious Game Design ». In : *Proceedings of the 11th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS 2012). 11th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS 2012)*. Springer Berlin / Heidelberg, 2012. p. 135-140. (papier-court, taux d'acceptation : 30 %)
- Marne B., Wisdom J., Huynh-Kim-Bang B., Labat J.-M. « The Six Facets of Serious Game Design: A Methodology Enhanced by Our Design Pattern Library ». In : *21st Century Learning for 21st Century Skills. Seventh European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2012)*. Saarbrücken, Germany : Springer Berlin / Heidelberg, 2012. p. 208-221. (taux d'acceptation : 20 %)

# Sommaire du chapitre

<b>Chapitre 2. Modèle conceptuel et patrons de conception pour les jeux sérieux.....</b>	<b>17</b>
I. Des besoins méthodologiques de conception participative.....	20
II. État de l'art sur les méthodologies de conception.....	23
III. Un cadre conceptuel pour une conception participative : les 6 facettes de la conception des jeux sérieux.....	29
III.1. Des jeux sérieux fondés sur des interactions avec un modèle du domaine.....	29
III.2. Les 6 facettes de la conception des jeux sérieux.....	32
III.2.1. Méthodologie.....	32
III.2.2. Facette 1 : Objectifs pédagogiques.....	33
III.2.3. Facette 2 : Simulation du domaine.....	34
III.2.4. Facette 3 : Interactions avec la simulation.....	35
III.2.5. Facette 4 : Problèmes et progression.....	37
III.2.6. Facette 5 : Décorum.....	38
III.2.7. Facette 6 : Conditions d'utilisation.....	39
III.2.8. Un exemple de workflow pour les 6 facettes.....	40
III.2.9. Récapitulatif des 6 facettes de la conception des jeux sérieux.....	41
IV. Un outil méthodologique à utiliser dans les 6 facettes : les patrons de conception.....	43
IV.1. Les patrons de conception : un vocabulaire pour faciliter la conception participative.....	43
IV.2. État de l'art des bibliothèques de patrons de conception pour les jeux sérieux et de leur collecte.....	44
IV.3. Méthodologie d'extraction des patrons de conception.....	46
IV.4. Bibliothèque de patrons de conception de l'équipe MOCAH.....	46
IV.4.1. Description du langage de patrons utilisé.....	47
IV.4.2. Tableau de synthèse des patrons de conception.....	47
IV.4.3. Exemple 1 : Un temps pour agir, un temps pour réfléchir.....	48
IV.4.4. Exemple 2 : Objectifs hiérarchisés et pédagogiques.....	50
V. Évaluation qualitative et discussion sur ces outils méthodologiques.....	54
V.1. Mise à l'épreuve avec des concepteurs individuels.....	54
V.2. Mise à l'épreuve dans une conception participative.....	56
V.3. Évaluation quantitative.....	58
VI. Conclusion sur les outils pour la conception participative dans les jeux sérieux.....	61

La conception des jeux sérieux ayant des aspects ludiques et pédagogiques mêlés par une métaphore intrinsèque est complexe [Fabricatore, 2000 ; Djaouti, 2011 ; Marfisi-Schottman, 2012]. Notamment, ce travail de conception fait intervenir des compétences différentes nécessitant une bonne collaboration d'experts variés, dont des enseignants. Les travaux présentés dans les deux premières sections de ce chapitre le montrent, et confortent la première question de recherche de cette thèse qui cherche à définir un modèle conceptuel pour faciliter une conception participative des jeux sérieux en s'axant notamment sur l'inclusion des enseignants et des formateurs. Cette question de recherche sera traitée à travers deux objectifs qui sont complémentaires. D'une part il s'agit de parvenir à définir la place des enseignants, et des autres spécialistes de la pédagogie et du domaine à enseigner, dans les phases de conception. D'autre part, il s'agit de concevoir des outils pour les aider à collaborer avec les autres intervenants.

La première section de ce chapitre présente les besoins d'outils de conception, notamment participative, pour les enseignants et les objectifs qui en découlent dans le traitement de la question de recherche. Nous concluons cette section en justifiant l'approche centrée sur les outils méthodologiques plutôt que logiciels.

La seconde section est un état de l'art des recherches sur ce type d'outils, puis la troisième section présente le modèle que nous avons conçu et développé pour faciliter la conception participative, donc idéalement hautement collaborative, des jeux sérieux : les *6 facettes de la conception des jeux sérieux*. Ensuite dans une quatrième section, nous verrons les outils qui ont été conçus en collaboration avec l'équipe MOCAH pour utiliser ce modèle : les patrons de conception destinés aux jeux sérieux.

Avant de conclure ce chapitre, la cinquième section porte sur l'évaluation de la bibliothèque de patrons de conception et du modèle des 6 facettes de la conception des jeux sérieux.

---

## ***1. Des besoins méthodologiques de conception participative***

---

L'équipe MOCAH et moi-même avons été impliqués dans plusieurs projets de conception de jeux sérieux. Et à ces occasions, nous avons constaté que l'une des caractéristiques principales de la conception des jeux sérieux est la collaboration d'experts aux compétences, méthodes et buts différents.

Ces experts peuvent être répartis en deux catégories : d'une part les « **experts pédagogiques** » (enseignants, formateurs, spécialistes du domaine, et par extension les ingénieurs de la connaissance, etc.), et d'autre part les « **experts ludiques** » (game/level designers, et par extension les producteurs artistiques, scénaristes, artistes multimedia, etc.).

La littérature scientifique sur la conception confirme que l'un des enjeux principaux de la conception des jeux sérieux est de parvenir à faire collaborer des experts aux différentes compétences et aussi aux buts qui semblent parfois antinomiques [Mehm, 2010 ; Mariais, 2012 ; Marfisi-Schottman et al., 2010]. La difficulté de conception propre aux jeux sérieux est donc dans l'oscillation entre les deux catégories d'expertises, ludique et pédagogique : d'un côté une conception seulement portée par des experts pédagogiques devrait donner un jeu sérieux avec de bonnes qualités pédagogiques, mais qui risque de ne pas être très ludique. De l'autre côté, une conception seulement portée par des experts ludiques devrait donner un jeu sérieux très motivant, mais dont les qualités pédagogiques pourraient laisser à désirer. Dans ces deux cas extrêmes, le double but du jeu sérieux d'enseigner et de motiver risque de ne pas être atteint.

Par conséquent, afin de permettre la conception de jeux sérieux équilibrés du point de vue ludique et pédagogique, nous cherchons à faciliter la mise en place d'une conception participative rendant possible la collaboration efficace des deux catégories d'experts. En particulier dans les jeux sérieux les plus ludiques : ceux qui reposent sur une métaphore intrinsèque, mais dans la conception desquels nous avons constaté que la place des experts pédagogiques et notamment des enseignants est insuffisante. Cette problématique s'exprime concrètement par des difficultés pour les experts

pédagogiques, mais aussi les experts ludiques à comprendre à la fois les buts, les méthodes et le langage de l'autre catégorie d'expert. Ce qui nous amène découper la question de recherche traitée dans cette section en deux objectifs complémentaires : « *Comment aider les experts pédagogiques à comprendre les buts et les méthodes des experts ludiques ? Et vice versa* », et « *Comment permettre aux différents experts de parler le même langage afin de permettre de collaborer de manière efficace ?* ».

Une étude approfondie des outils auteurs logiciels permettant de réaliser des jeux sérieux de [Djaouti, 2011] montre que ceux-ci ne répondent pas à ces questions, car ils ont peu de qualités méthodologiques : la conception d'un outil permettant à la fois de concevoir et de réaliser un jeu sérieux semble encore utopique. [Djaouti, 2011 ; Marne, 2010] montrent que les outils auteurs qui permettent de produire des jeux sérieux, sont soit très simplistes, permettant seulement d'adapter des jeux préexistants en y modifiant quelques paramètres. Soit au contraire, plus souples, permettant de générer des jeux plus variés, mais demandant aux utilisateurs une connaissance minimum, mais néanmoins peu répandue, des principes de programmation. Mon stage de Master 2 portait sur les outils auteurs de jeu sérieux sans programmation, plutôt destinés aux enseignants. Et j'ai montré qu'un de leurs défauts pour permettre aux enseignants de concevoir des jeux sérieux est qu'ils ne proposaient pas de guide méthodologique [Marne, 2010]. Par exemple, les outils auteurs capables de générer des jeux (ex. : *Multimedia Fusion Creator, Construct, Game Maker, Scratch*, etc.) et des jeux sérieux (ex. : *eAdventure/WEEV, StoryTec*, etc.) ne permettent pas à leurs utilisateurs d'identifier les principales problématiques de la conception, ni leurs solutions les plus connues. Ils ne permettent pas d'orienter les auteurs vers des tâches particulières en fonction de leur avancée dans les phases de conception. Ils ne les aident pas à comprendre les aspects dont ils ne sont pas experts et ne permettent que très rarement le travail collaboratif et la mutualisation/réutilisation des éléments de conception. Ainsi, ces outils auteurs ne permettraient pas d'aider les enseignants concepteurs à construire un scénario intégrant à la fois des aspects pédagogiques et des aspects ludiques.

Par conséquent, avec les outils logiciels actuels, il est difficile pour les enseignants qui ne sont pas spécialisés dans le domaine des jeux sérieux de mener un projet de conception d'un jeu sérieux à terme. Il leur est également difficile de s'intégrer dans une équipe pluridisciplinaire, notamment si les autres concepteurs ne sont pas sensibilisés aux problématiques didactiques et pédagogiques. Pour permettre aux enseignants de participer efficacement à la conception des jeux sérieux, les outils logiciels ne suffisent pas, il faut aussi mettre en place des outils méthodologiques pour instaurer une conception participative. Nous faisons ainsi l'hypothèse que cela devrait permettre de répondre à la question recherche traitée dans cette section en faisant passer les deux groupes de concepteurs d'une symétrie de l'ignorance à une symétrie de la connaissance [Muller, 2003].

Afin d'étudier les moyens de définir des outils pour faciliter une conception participative des jeux sérieux incluant les enseignants et les formateurs au travers des deux objectifs présentés ci-avant, nous verrons dans la section

suivante une présentation des méthodes de conception de jeux vidéo, de jeux sérieux et d'EIAH. Puis, construite sur les fondations de ces travaux antérieurs, je vais présenter ma proposition de cadre conceptuel pour organiser une conception participative de jeux sérieux utilisant les patrons de conception de l'équipe MOCAH. Ce cadre s'accompagne d'une bibliothèque de patrons de conception publique et collaborative qui sera ensuite présentée. Enfin, avant de conclure ce chapitre, nous verrons des éléments d'évaluation de ce cadre conceptuel et de cette bibliothèque.

---

## II. État de l'art sur les méthodologies de conception

---

Pour permettre d'aider les enseignants à participer à une conception participative de jeu sérieux, il est nécessaire de s'appuyer sur les travaux antérieurs concernant les méthodologies de conception. Cette étude a essentiellement porté sur trois domaines d'ingénierie, et en premier lieu sur l'ingénierie des jeux sérieux. Mais, celle-ci étant encore naissante, le domaine de recherche a été élargi à l'ingénierie des jeux vidéo et à celle des EIAH. Le but de cet état de l'art est de rassembler les travaux qui peuvent nous aider à répondre à la question de recherche présentée dans la section précédente, et ainsi de trouver des cadres conceptuels permettant une conception participative et donc aux experts pédagogiques et ludiques de travailler ensemble en comprenant les besoins et les méthodes de chacun.

L'ingénierie des EIAH est à la fois un moyen de décrire les processus de conception et de réalisation de ces systèmes, mais aussi d'après [Tchounikine, 2002] un moyen de faire progresser la compréhension de ce domaine de recherche. Dans ce domaine, certains cadres conceptuels s'adaptent bien aux jeux sérieux. MISA (*Méthode d'Ingénierie des Systèmes d'Apprentissage*) de [Paquette et al., 1997] en est l'une des méthodes emblématiques. Elle se fonde sur trois modèles à l'origine d'un EIAH : le **modèle de connaissances**, le **modèle pédagogique**, et enfin un **modèle médiatique**. MISA contient 5 « phases » : *l'analyse de la conception préliminaire*, *l'élaboration de l'architecture*, *la conception des matériels pédagogiques*, *la réalisation et la validation de ces matériels*, et enfin la préparation de la *mise en place effective* de l'EIAH. L'une des innovations de cette méthode est qu'elle permet de spécifier et de répartir le travail en fonction des expertises très différentes des acteurs de la conception d'un EIAH, c'est pourquoi elle s'adapte bien à la conception des jeux sérieux.

[Djaouti, 2011] propose un modèle global de la conception des jeux sérieux nommé DICE, intégrant certaines de ces étapes.

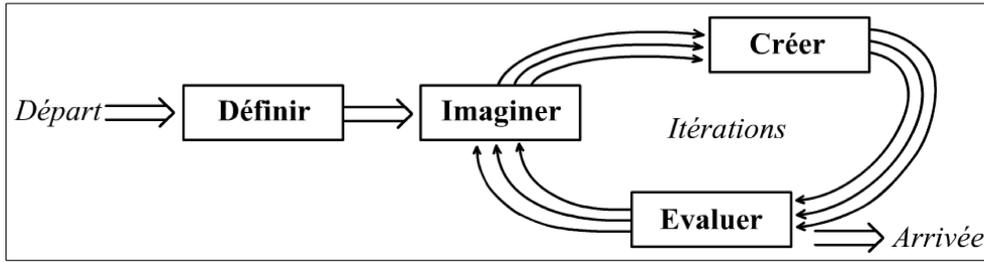


Figure 2 : Le modèle générique DICE issu de [Djaouti, 2011].

Une première étape de définition (Figure 2 ci-dessus) correspond à l'étape d'analyse de la conception préliminaire de la méthode MISA et qui initialise un cycle de développement dont les itérations comportent trois étapes assez génériques en ingénierie : Imaginer, Créer et Évaluer qui synthétisent les quatre autres étapes de la méthode MISA.

En relation avec ces travaux, *Serious Game Conceptual Framework* (Figure 3 ci-dessous) est un cadre conceptuel dédié aux jeux sérieux proposé par [Yusoff et al., 2009 ; Yusoff, 2010] : dans un premier temps, les compétences recherchées permettent de définir des objectifs pédagogiques auxquels sont associés des attributs de jeu. Ces attributs sont conçus en s'appuyant sur la littérature pédagogique et les mécanismes d'apprentissage appliqués aux jeux vidéo.

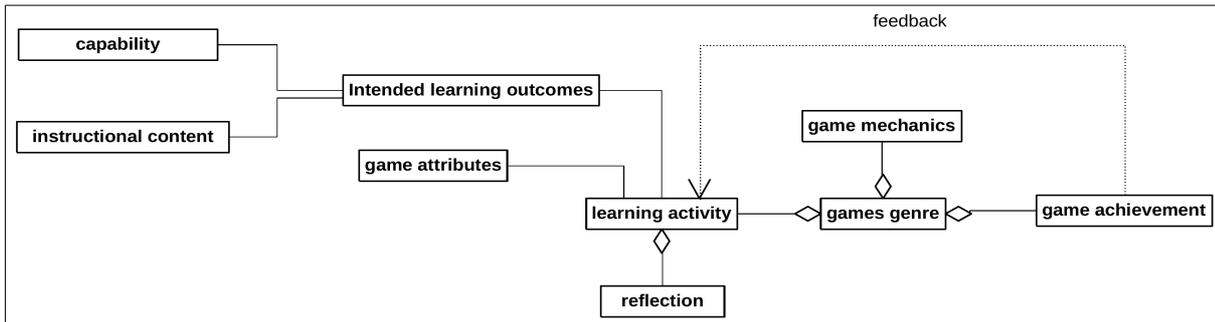
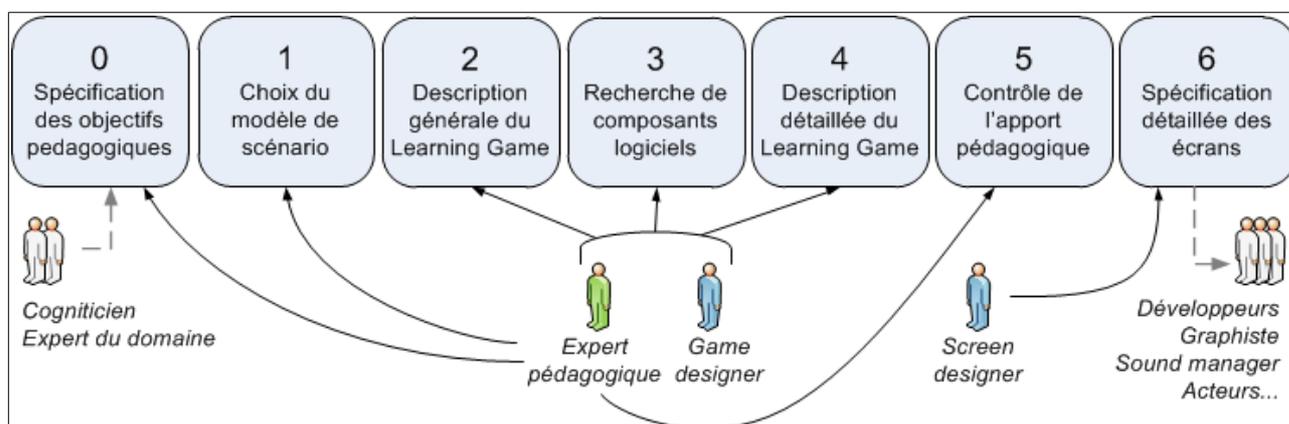


Figure 3 : Diagramme de classe du Serious Game Conceptual Framework de [Yusoff, 2010].

Cet aspect est précisé par [Capdevila Ibáñez et al., 2009] qui présentent un cadre conceptuel enrichi par le management des connaissances en s'appuyant sur l'expérience du développement du jeu sérieux *Starbank*<sup>2</sup>. D'après [Yusoff et al., 2009 ; Capdevila Ibáñez et al., 2009] c'est ainsi que l'activité d'apprentissage est définie. Les éléments de jouabilité peuvent y être intégrés grâce à une modélisation cognitive permettant aussi de définir le genre du jeu. Selon [Yusoff et al., 2009], durant ces activités d'apprentissage, des moyens et des temps doivent être prévus pour permettre une activité de métacognition, autorisant l'apprenant-joueur à prendre un recul suffisant pour réfléchir sur ce qu'il a accompli et sur ce qui reste à accomplir. Cet ensemble formé par l'activité d'apprentissage, les mécanismes de jeu et la métacognition de l'apprenant-joueur déterminent le genre de jeu à concevoir.

2 <http://starbankthegame.bnpparibas.com/>

Le cadre proposé par [Yusoff et al., 2009] situe, mais ne détaille pas vraiment le rôle des différents types d'acteurs impliqués dans cette conception. Conjointement à mes travaux avec l'équipe MOCAH, l'équipe du LIRIS (Laboratoire d'InfoRmatique en Image et Systèmes d'information) de l'INSA Lyon a travaillé sur une méthodologie de conception qui en est proche. Elle se découpe en 7 étapes permettant notamment aux experts des différents domaines de travailler de concert [Marfisi-Schottman, 2012].



**Figure 4 :** Méthodologie pour la conception de [Marfisi-Schottman, 2012].

Cette méthode (Figure 4 ci-dessus) s'articule autour d'un outil auteur permettant aux différents intervenants de participer aux étapes qui leur sont dédiées. [Marfisi-Schottman, 2012] indique que les 7 étapes proposées reposent sur la méthode MISA et commencent donc par la définition des *objectifs pédagogiques* à atteindre. Cette spécification des objectifs de compétences à atteindre permet de choisir le type de jeu sérieux à concevoir (« *Choix du modèle de scénario* » : jeu de plateau, enquête, jeu d'aventure, puzzle, etc.). Ces deux premières étapes sont centrées sur les experts du domaine enseigné et les pédagogues. Les trois étapes suivantes sont centrées sur le directeur artistique et le scénariste : ils doivent écrire un scénario général (« *Description générale du Learning Game* »), qu'ils ne préciseront (« *Description détaillée du Learning Game* ») qu'après avoir déterminé les mini-jeux utilisés, qui sont en fait des composants logiciels, indexés en fonction de leur type, de leur adaptabilité, etc. (« *Recherche des composants logiciels* »). Ces mini-jeux sont donc choisis et organisés dans le scénario pédagogique. Il est ensuite utilisé comme guide pour concevoir le scénario ludique (voir aussi la Figure 32 p.93). [Marfisi-Schottman, 2012] explique que la 6e étape consiste à évaluer le scénario : la tâche revient aux experts pédagogiques assistés par l'outil auteur *Legadee*. La dernière étape, sous la responsabilité du directeur artistique, consiste à rédiger l'ensemble des spécifications destinées aux développeurs, graphistes, sound designers, etc. L'équipe du LIRIS propose ainsi une méthodologie très fonctionnelle pour créer des jeux sérieux articulant des mini-jeux dans un scénario global (méta-jeu) de façon à accompagner l'apprentissage par un univers et des interactions ludiques. Cette méthodologie de conception s'inscrit dans un cycle de vie plus global décrit dans les travaux de [Marfisi-Schottman, 2012] (Figure 5 ci-dessous). Ces travaux ont été menés en parallèle des nôtres et montrent des

similitudes et des complémentarités, notamment sur la définition des différentes étapes de la conception ou sur la modélisation de la scénarisation des jeux sérieux. Nos travaux diffèrent essentiellement par l'approche choisie. Quand [Marfisi-Schottman, 2012] propose une approche coopérative, c'est-à-dire répartissant le travail entre les différents experts grâce à un outil auteur qui formalise une certaine étanchéité dans les fonctions de chacun, l'équipe MOCAH propose d'instaurer un travail collaboratif par le biais d'une conception participative qui inclut tous les types d'intervenants à chaque étape en aidant chacun à comprendre les méthodes et le vocabulaire des autres.

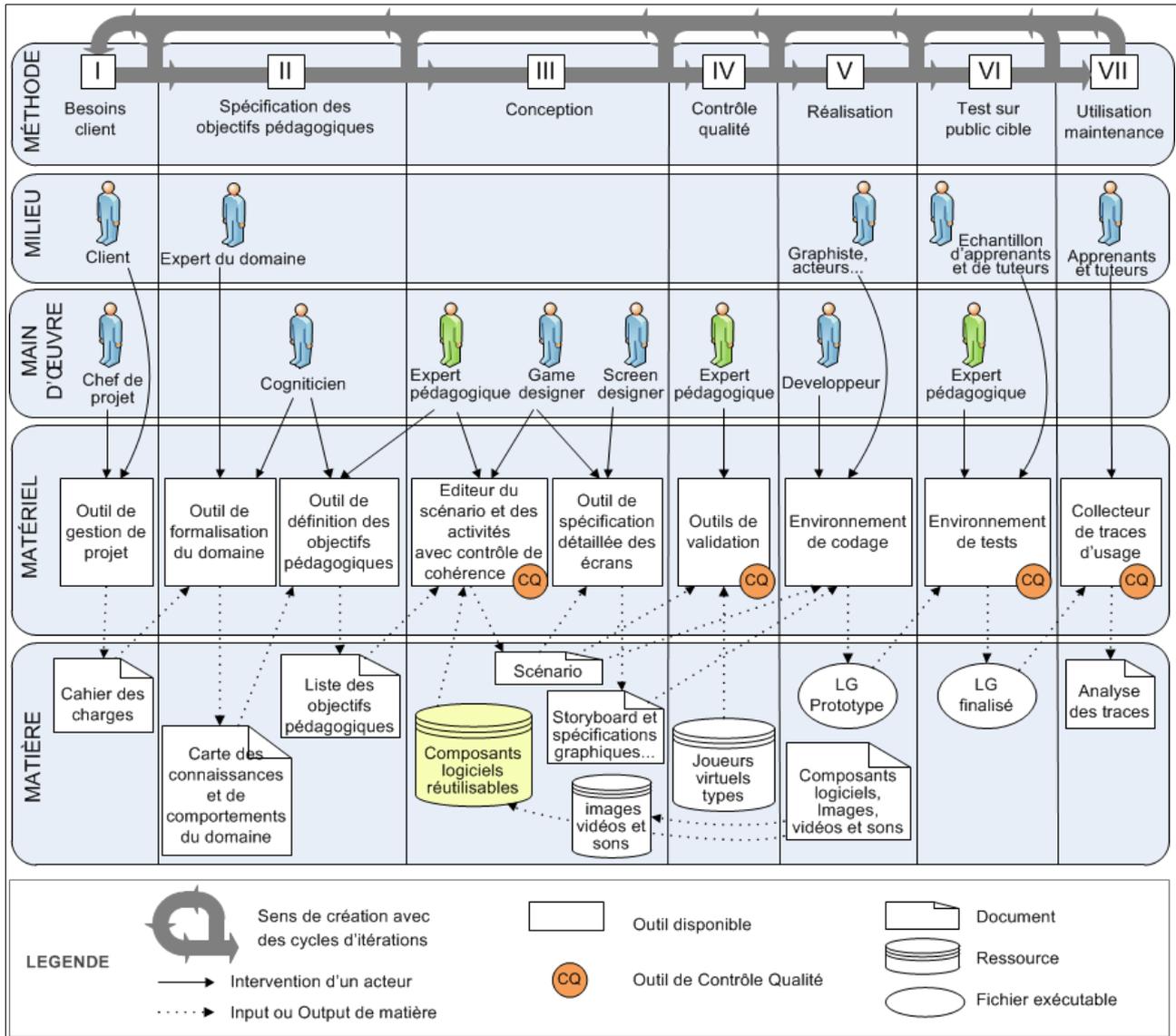
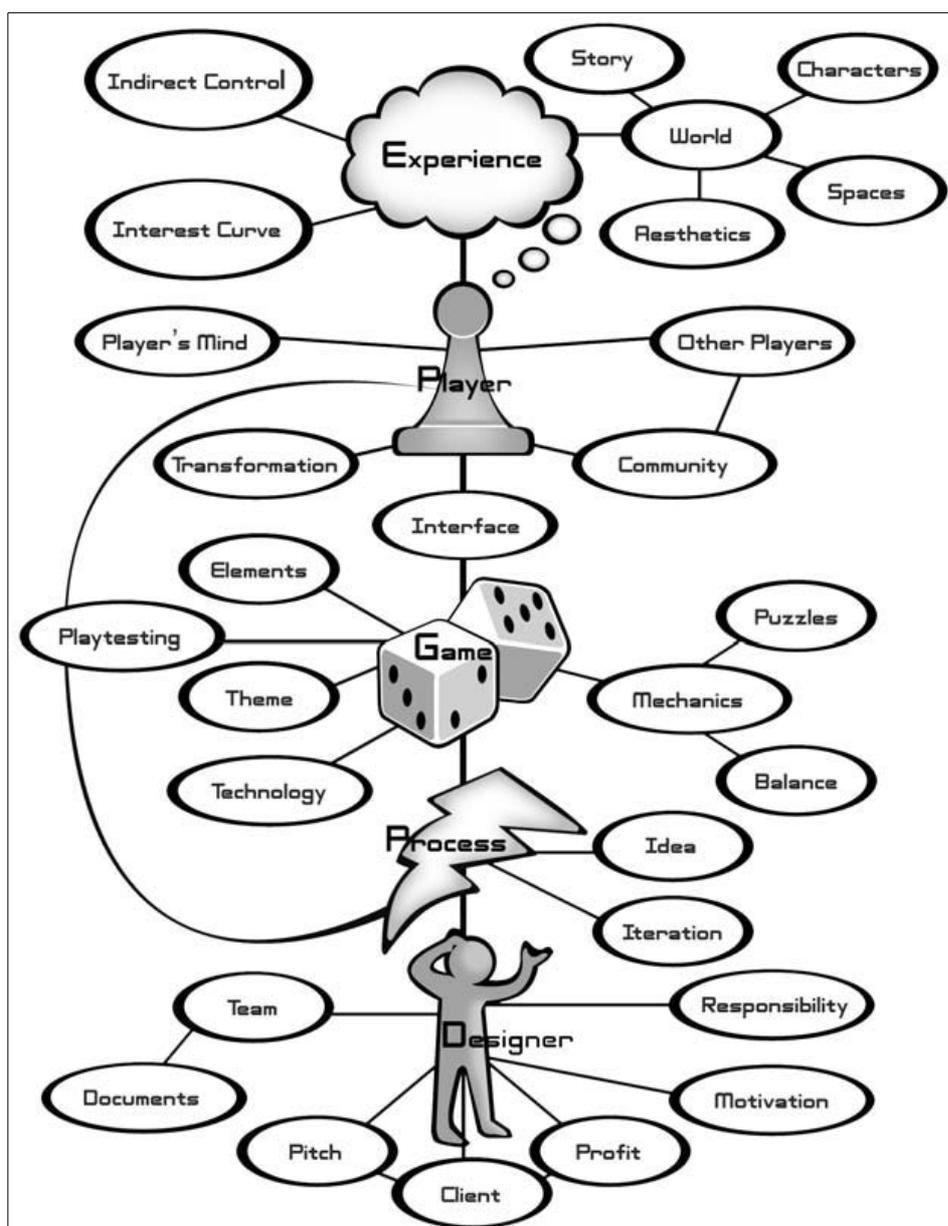


Figure 5 : Méthodologie de création de Learning Game mise au point par [Marfisi-Schottman, 2012].

Les jeux sérieux sur lesquels notre équipe travaille se revendiquent proches des jeux vidéo en fondant l'apprentissage sur l'interaction avec un modèle qui simule le domaine étudié. [Schell, 2008] propose un cadre de conception de la jouabilité des jeux vidéo et qu'il est donc très intéressant

d'étudier pour renseigner la conception des jeux sérieux à métaphore intrinsèque (Figure 6 ci-dessous).



**Figure 6 :** Axe principal du cadre de conception de [Schell, 2008] autour duquel s'articulent ses *lenses* (ici regroupées par thèmes. Exs. : Indirect Control, Interface, Mechanics, etc.).

Ce cadre s'axe sur la relation entre le *game designer*, le jeu, le joueur et son expérience dans le jeu. L'auteur analyse chaque élément de cet axe sous différentes « perspectives » qu'il appelle des **lenses** (lentilles optiques). Ce sont des outils pour le *game designer* afin de questionner la conception en cours. [Schell, 2008] explique ce choix par la jeunesse et le manque de formalisme du métier de *game designer* qui rend difficile l'émergence d'une méthode de guidage précise. S'il permet d'expliciter les questionnements qui dirigent le travail du *game designer* et donc de formaliser les compétences de ces experts, il n'aborde pas le jeu sérieux, ni les questions qui concernent le

métissage entre la motivation et l'apprentissage. La seule note de [Schell, 2008] à ce propos est que l'expérience de jeu *transforme* le joueur, que cette transformation peut être de bien des natures (positives ou négatives), et que l'une d'entre elles est l'apprentissage de connaissances et de savoirs-faire nécessaires pour réussir dans le jeu. C'est sur ce type d'observation qu'est fondée la conviction de nombreux acteurs du domaine que le jeu sérieux est un bon outil d'apprentissage. Encore faut-il, comme l'auteur des *lenses* le suggère, réussir à contrôler comment le « joueur » se transforme en articulant correctement la motivation et l'apprentissage.

Cette synthèse de quelques cadres conceptuels autour du jeu sérieux nous apprend que pour bien articuler la motivation et l'apprentissage, il est nécessaire de spécifier les étapes de conception et de définir qui sont les experts de chacune d'elles. Cette étude nous permet aussi de remarquer que les auteurs placent toujours en premier le travail sur les objectifs pédagogiques. Enfin, lorsqu'il s'agit de travailler sur la motivation grâce à la jouabilité, la formalisation étant plus difficile, il est recommandé de procéder à des allers-retours itératifs entre questionnement et guidage de la conception.

Ce sont ces travaux qui fondent notre question de recherche et la proposition qui l'accompagne : un cadre conceptuel, présenté dans la section suivante, qui a pour but d'identifier, orienter, et guider les différents experts dans les différents aspects de la conception des jeux sérieux et cela pour faciliter l'instauration d'une conception participative.

---

## ***III. Un cadre conceptuel pour une conception participative : les 6 facettes de la conception des jeux sérieux***

---

Le cadre de conception présenté dans les sous-sections qui suivent s'appuie sur les recherches antérieures présentées dans la section précédente. Il est le fruit d'un travail de synthèse de l'expérience de l'équipe MOCAH dans la conception des jeux sérieux avec des entreprises partenaires, et de la création d'une bibliothèque de Design Patterns (patrons de conception).

### **III.1. Des jeux sérieux fondés sur des interactions avec un modèle du domaine**

---

Les jeux sérieux sur lesquels l'équipe MOCAH a travaillé sont toujours fondés sur une simulation du domaine à enseigner. Par exemple, *Starbank* (Figure 7 ci-dessous) est un jeu sérieux pour le groupe BNP Paribas qui repose sur la simulation d'une banque et de ses interactions avec le monde. Pour construire des réponses (valides ou erronées) aux problèmes qui lui sont posés, l'apprenant-joueur dispose d'une variété d'éléments présents dans le jeu. En fonction de ses réponses, le moteur de jeu renvoie un retour adapté et imagé dans l'univers du jeu lui permettant de mesurer l'impact de ses choix. Lorsqu'il franchit un niveau en résolvant tous les problèmes posés, un nouveau niveau a priori plus difficile lui est proposé. L'augmentation de la difficulté est réalisée soit en donnant des problèmes plus difficiles à résoudre, soit en augmentant la variété des éléments de réponse disponibles, soit en diminuant la tolérance du simulateur aux réponses erronées ou même simplement imprécises. Il est possible de jouer sur ces trois paramètres à la fois.



Figure 7 : Capture d'écran du jeu sérieux StarBank.

Ainsi, dans tous les jeux sérieux suivant ce modèle, nous avons relevé 5 **dénominateurs communs** :

- Des **défis** : les problèmes posés à l'apprenant-joueur
- Des **actions significatives** : les tentatives de l'apprenant-joueur pour résoudre ces problèmes
- Un **moteur du jeu** : un système de *simulation* capable de répondre aux tentatives de l'apprenant-joueur
- Une **interface ludique** avec le moteur : un univers avec lequel l'apprenant-joueur interagit et qui implémente la métaphore intrinsèque.
- Une **évolution de la difficulté** proposée : qui permet de faire progresser l'apprenant et de motiver le joueur

Nous avons constaté que ce modèle est présent dans de nombreux autres jeux sérieux, y compris s'ils ne semblent pas reposer sur un moteur de jeu simulant un domaine d'apprentissage. Par exemple, *Revolution*<sup>3</sup> (Figure 8 ci-dessous) est un jeu de rôle sérieux reposant sur un *moteur* qui *simule* les interactions entre les joueurs. Le *défi* se fonde sur les problèmes du quotidien d'un Américain à la fin du XVIIIe siècle. Les *actions significatives* sont les tentatives de réponses de l'apprenant-joueur. Elles sont évaluées par le système qui se fonde sur des données du domaine (l'histoire des États-Unis) et qui renvoie des modifications de l'environnement en fonction de ces tentatives. L'*interface ludique* est un environnement modélisé en trois dimensions dans lequel l'apprenant-joueur se déplace librement et joue son rôle. L'*évolution de la difficulté* concerne notamment les dilemmes proposés. Le Tableau 1 présente quelques autres exemples de jeux sérieux, parmi ceux qui dont il sera question dans cette thèse, reposant sur des simulations du domaine et dans lesquels les 5 dénominateurs communs sont facilement identifiés. Nous aurions pu multiplier les exemples...

3 <http://www.educationarcade.org/node/357>



Figure 8 : Capture d'écran du jeu sérieux Revolution.

Ex. de jeux sérieux	Défis	Actions significatives	Moteur de jeu	Interface ludique	Évolution de la difficulté
<i>Starbank</i> (cf. p.29, 36, 90)	Ensemble des problématiques des métiers de la banque	Modification des paramètres de la banque	Simulation de création d'instituts bancaires	Jeu de stratégie (développement d'une banque) dans un univers spatial	Rôles de plus en plus complexes dans la banque
<i>Défenses immunitaires</i> (cf. p.36, 50, 90, 175)	Prévoir un système de défense adapté en fonction des microbes	Sélection et placement des défenses	Simulation des interactions entre microbes et défenses immunitaires	Jeu de type <i>tower defense</i> (empêcher des microbes de passer)	Augmentation de la complexité des réponses immunitaires à pourvoir
<i>Refraction</i> (cf. p.67, 75, 90)	Additionner, multiplier, diviser des fractions pour fournir des fractions précises	Placer des accessoires pour gérer des flux représentant des quantités	Simulation de flux pouvant être partagés, additionnés et multipliés pour alimenter un réceptacle	Puzzles pour alimenter des vaisseaux spatiaux avec des lasers	Augmentation des possibilités de manipulation des fractions et de la complexité des fractions cibles
<i>Cellcraft</i> (cf. p.52, 67, 90)	Faire fonctionner les différents organites d'une cellule	Modification des paramètres des organites	Simulation du fonctionnement d'une cellule et des interactions entre organites	Représentation de type cartoon de la cellule et scénario situant l'action	Augmentation du nombre d'organites et de l'agressivité de l'environnement

Tableau 1 : Quelques exemples de jeux sérieux reposant sur des simulations du domaine avec leurs 5 dénominateurs communs

## III.2. Les 6 facettes de la conception des jeux sérieux

---

Les travaux de l'équipe MOCAH sur ce modèle de jeux sérieux ont fait émerger la difficulté d'y équilibrer la motivation avec l'apprentissage. Nous avons observé qu'au cours des phases de conception ces deux aspects étaient élaborés par des experts différents. Les pédagogues et les experts du domaine s'attachaient à l'*apprentissage* tandis que les *game designers* et les experts du jeu vidéo s'intéressaient à la *motivation*, bien qu'il s'agisse de compétences partagées par ces deux catégories d'experts (voir la symétrie de l'ignorance sur la Figure 1 p.14). Selon le penchant des organismes avec lesquels nous collaborions (plutôt jeu vidéo ou plutôt apprentissage), nous aboutissions à des jeux sérieux déséquilibrés, soit trop sérieux pour être vraiment ludiques, soit trop ludiques, avec un apprentissage moins efficace. Concevoir un cadre conceptuel a donc eu comme but de permettre d'équilibrer ces deux aspects en facilitant la conception participative, et notamment d'assurer la place des enseignants lors de la conception des jeux sérieux à métaphore intrinsèque.

### III.2.1. Méthodologie

L'état de l'art a permis d'établir que certains modèles permettaient bien de définir des étapes de conception [Yusoff, 2010 ; Capdevila Ibáñez et al., 2009], mais sans forcément bien en préciser les experts. D'autres modèles définissent pour chaque étape qui sont les experts impliqués [Paquette et al., 1997 ; Marfisi-Schottman, 2012], mais ils sont parfois séquentiels ce qui ne s'adapte pas aisément à une conception itérative, et sont, dans tous les cas, plus adaptés à la coopération qu'à une conception participative où les experts sont impliqués à chaque étape. Enfin, des modèles moins formels proposent d'analyser la conception sous ses différents angles et s'intègrent mieux dans les itérations qui sont conventionnelles chez les concepteurs [Schell, 2008].

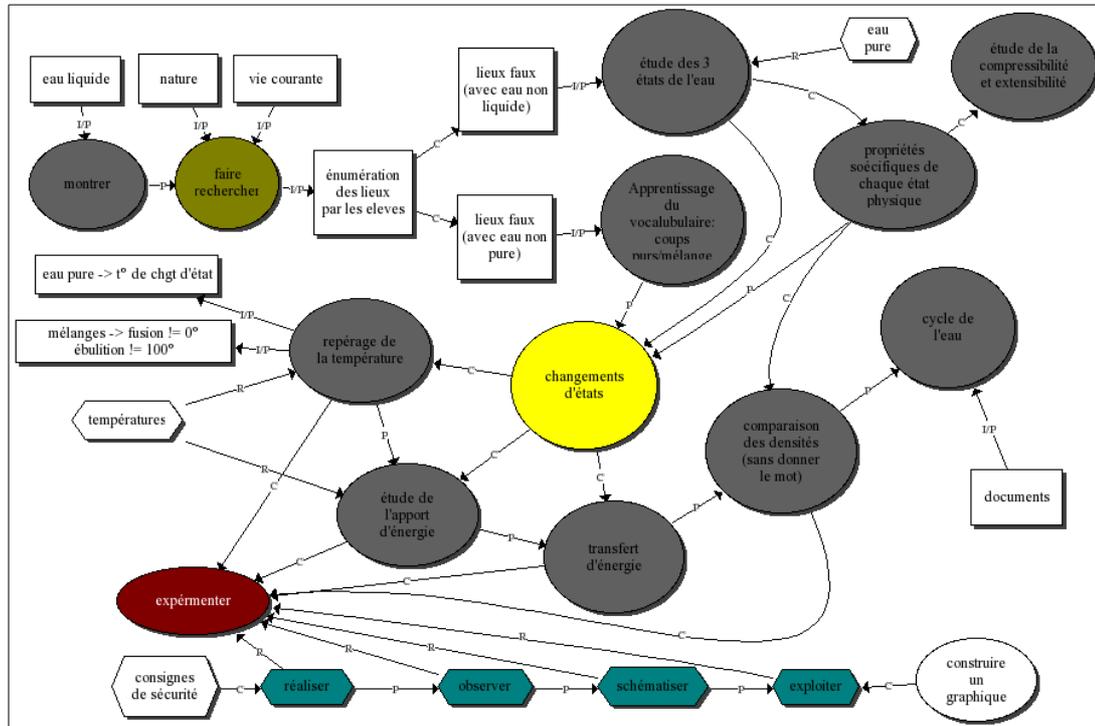
C'est en utilisant cette approche de [Schell, 2008] mettant en avant l'analyse de la conception des jeux vidéo sous ses différents aspects, et en utilisant d'autre part les travaux sur les cadres conceptuels d'EIAH et de jeux sérieux, et l'expérience de l'équipe MOCAH dans la conception de jeux sérieux, que j'ai conçu un cadre conceptuel visant à aider les experts à collaborer pendant les étapes de conception. Ce cadre ne se structure donc pas vraiment en étapes, mais en **facettes** qui sont plutôt des éléments de conception, des passages qu'il faut identifier et qu'il faut franchir. Les facettes forment un *prisme* à travers lequel il est possible de formaliser et questionner l'ingénierie d'un jeu sérieux à la manière des *lenses* de [Schell, 2008].

Puisque ces facettes questionnent, je les présente dans les sous-sections suivantes sous la forme d'une problématique, accompagnée d'une réponse générale (encadrés) et d'un descriptif au cours duquel j'identifie les experts de chacune d'entre-elles.

### III.2.2. Facette 1 : Objectifs pédagogiques



Que veut-on enseigner à l'apprenant-joueur ? Définition du référentiel du domaine et des objectifs pédagogiques, incluant les misconceptions.



**Figure 9 :** Modèle de l'enseignement des changements d'état de l'eau construit avec des enseignants de SPCFA. Il a été construit avec MOT [Paquette et al., 2006]. Voir la description du langage MOT dans la Figure 60 placée dans l'annexe I p.171.

Comme le précisent [Paquette et al., 1997], la première étape dans la conception d'un EIAH est la détermination des objectifs pédagogiques. Il s'agit d'une part de préciser ce que nous voulons que les apprenants aient acquis après avoir joué au jeu sérieux. D'autre part, il s'agit de construire un référentiel du domaine à enseigner. Ce dernier, qui pourra être représenté sous forme d'un graphe typé [Paquette et al., 2006] doit contenir les compétences (connaissances, capacités, et attitudes), mais aussi les relations qui doivent exister entre elles (composition, précédence, etc.), enrichies des misconceptions classiques du domaine. Les misconceptions ou méconceptions sont des représentations erronées du domaine que les formateurs connaissent bien et qu'il faut déconstruire chez l'apprenant pour que d'autres concepts puissent s'installer. Cette déconstruction est en général faite par la confrontation de la misconception à ses conséquences qui créent des situations paradoxales ou « impossibles » conduisant à un conflit cognitif. Le paradoxe déstabilise cette conception initiale dans l'esprit de l'apprenant. Ce sont les spécialistes du domaine qui, assistés d'ingénieurs de la connaissance et de formateurs du domaine, sont les experts capables de concevoir ce modèle du

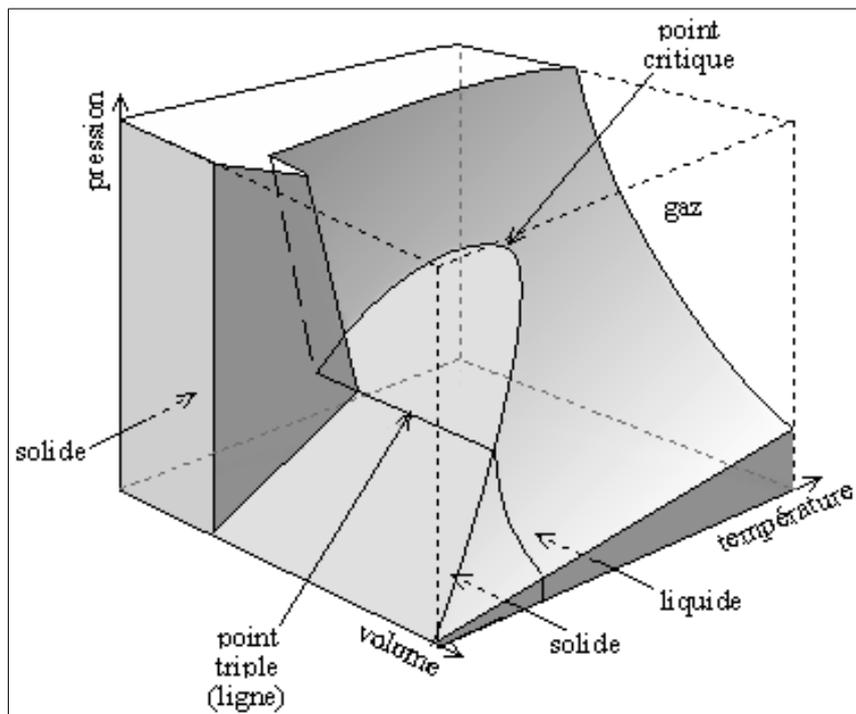
domaine et ainsi de définir les éléments qui constituent les objectifs pédagogiques.

Par exemple, *Donjons & Radon*<sup>4</sup> est un jeu sérieux destiné à enseigner les changements d'état de la matière (l'eau en particulier) à la conception duquel j'ai pu participer. À la suite de difficultés de conception qui sont détaillées dans la section V.2 p.56, j'ai participé à plusieurs séances de travail avec des enseignants de Sciences Physiques et Chimiques Fondamentales et Appliquées (SPCFA) afin de construire avec leur aide un modèle du domaine et un modèle pédagogique sous forme de graphe *MOT* [Paquette et al., 2006] (Figure 9). Ces modèles ont par la suite été utilisés lors de la conception du jeu sérieux.

### III.2.3. Facette 2 : Simulation du domaine



Comment répondre aux propositions de l'apprenant-joueur ? Définition d'un modèle formel du domaine qui fonde la simulation.



**Figure 10** : Diagramme de changement d'état de l'eau (issu de Wikipedia: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Diag\\_phase\\_PVT.png](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Diag_phase_PVT.png)). Un tel diagramme a servi de fondement pour le modèle formel de la simulation de *Donjons & Radon* et *Les Cristaux d'Éhère* (voir section IV.1.2 du Chapitre 3, p.128).

Une grande partie des jeux sérieux reposent sur des interactions entre l'apprenant-joueur et un *moteur de jeu* qui simule le fonctionnement du domaine enseigné (voir quelques exemples dans le Tableau 1 p.31). Nous

<sup>4</sup> <http://www.ad-invaders.com/project.php?id=19>

avons constaté qu'il était fondamental que ce moteur de jeu repose sur le domaine tel qu'il a été formalisé dans la facette 1 (ci-dessus). En effet, le jeu sérieux doit être capable de répondre aux actions significatives du joueur conformément aux principes du domaine en évitant les représentations erronées. Pour s'assurer de cela, il faut veiller à conformer la simulation proposée par le moteur de jeu au référentiel du domaine établi dans la première facette. Nous proposons de construire un modèle formel qui pourra être interrogé lors des actions du joueur pour lui retourner une réponse conforme aux conceptions du domaine.

L'ensemble formé par le modèle formel du domaine et par le système de requêtes sur celui-ci constitue le simulateur du domaine. Ce simulateur est donc conçu par des « experts pédagogiques » (ingénieurs de la connaissance, spécialistes du domaine, formateurs), assistés d'informaticiens pour le développement.

Par exemple, dans *Donjons & Radon* les interactions avec l'eau sont validées par un simulateur qui repose sur un diagramme du point triple de l'eau (diagramme de changement d'état en fonction de la pression, de la température et du volume : Figure 10)<sup>5</sup> qui a été fortement simplifié pour des raisons didactiques (par exemple, la pression est considérée comme constante).

### III.2.4. Facette 3 : Interactions avec la simulation



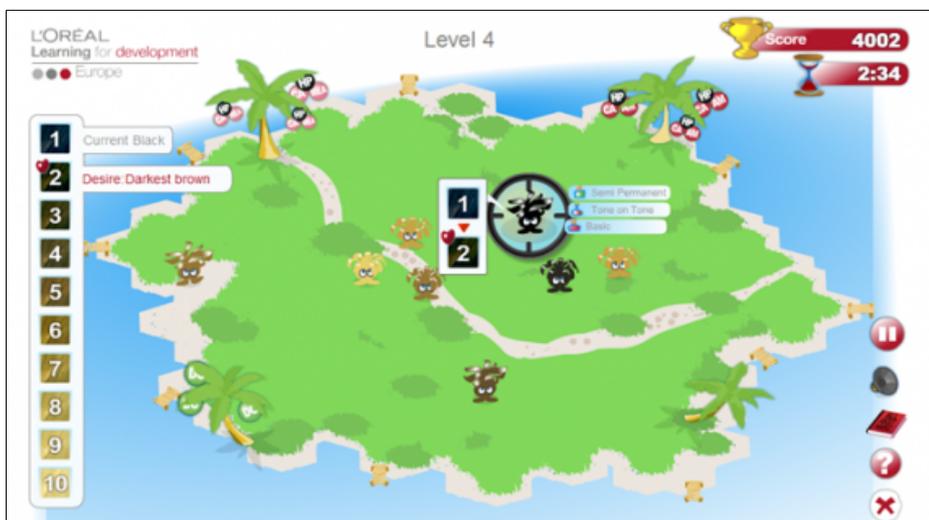
Comment donner du plaisir à l'apprenant-joueur en lui permettant de formuler ses propositions et recevoir les réponses de la simulation ? Définition des interactions avec le modèle formel et donc de la métaphore intrinsèque.

Il n'est évidemment pas question de demander à l'apprenant-joueur d'interagir directement avec un simulateur en exprimant des requêtes pour interroger un modèle formel. Il faut concevoir une métaphore ludique qui sera l'interface entre le joueur et ce modèle. La conception de cette métaphore revient aux *game designers* : ils devront trouver le moyen le plus motivant pour les apprenants d'interagir avec le moteur de jeu. Pour cela, ils peuvent s'inspirer de « *The Lens of The Toy* » de [Schell, 2008] qui explique qu'un bon jeu vidéo peut être fondé sur un jouet. Il est possible de résumer la notion de jouet à un objet plutôt intuitif et dynamique (c'est-à-dire capable de fournir du *feedback*) aux utilisations multiples. L'exemple de jouet donné est une balle, qui est utilisée de façons variées dans de nombreux jeux (football, tennis, etc.) et qui pourtant se suffit à elle-même pour une activité ludique indépendante de ces jeux. [Ryan et al., 2012] détaillent à partir des travaux de [Schell, 2008] comment concevoir et utiliser des jeux vidéo fondés sur des jouets pour en faire des outils d'apprentissage : pour fonder le jeu sérieux sur un jouet, les *game designers* devront élaborer des interactions avec le simulateur, intuitives et ludiques en elles-mêmes, indépendamment des règles du jeu construites par ailleurs et qui vont participer à la constitution de la métaphore ludique.

5 Voir aussi la section V.2 p.56

En reprenant l'exemple de *StarBank*, la métaphore est relativement ténue puisque le joueur se trouve dans la peau de quelqu'un qui crée sa banque. Mais, dans le cas de *Défenses Immunitaires*, un jeu sur lequel travaille l'équipe MOCAH et qui a pour but d'enseigner aux élèves de 3e le fonctionnement du système immunitaire (voir aussi dans le Chapitre 3. section IV.1.1 p.127), la métaphore est un peu plus dense : elle se fait sous la forme d'un jeu de stratégie en temps réel dans lequel les globules blancs sont des systèmes de défense et les microbes des envahisseurs.

Cette facette est donc celle qui permet de définir le type de jeu. Mais, à une granularité plus faible (celle du « jouet »), c'est aussi celle qui permet de détailler toutes les actions de l'apprenant-joueur lorsqu'il manipule le modèle formel du domaine. Par exemple, un quiz ou un QCM sont des moyens d'interagir facilement avec le modèle formel. Mais ils sont à éviter pour maintenir la motivation du joueur avec un bon jouet, c'est-à-dire dans lequel les interactions sont au cœur de la jouabilité. Il faudra donc que les *game designers* trouvent plutôt des moyens d'intégrer ces interactions avec le modèle formel à l'intérieur même des structures du jeu sérieux. Dans *Hairz's Island*<sup>6</sup> (Figure 11), un jeu sérieux pour apprendre la coiffure, le jouet est proche du *shifumi*<sup>7</sup> et se fonde sur l'association correcte ou non de deux éléments. Cette jouabilité permet aux apprenants-joueurs qui sont des coiffeurs d'interagir avec un modèle du domaine qui représente des choix de coloration en fonction d'un type de cheveu et des vœux des clients. Pour motiver les apprenants, il est très important que les actions d'apprentissage, qui sont des interactions avec la simulation du domaine, soient intégrées au jouet et donc prennent l'aspect le plus ludique possible.



**Figure 11** : *Hairz's Island* est un jeu sérieux proposant des interactions avec son simulateur sur le mode du *shifumi*.

D'autres interactions peuvent exister dans le jeu sérieux sans avoir de rapport avec la simulation du domaine, elles appartiennent alors au « décorum » abordé dans la facette 5 (voir p.38) : par exemple, des échanges avec d'autres

6 [http://www.ktm-advance.com/viewProject\\_fr.php?id=123](http://www.ktm-advance.com/viewProject_fr.php?id=123)

7 Le « *shifumi* » aussi appelé pierre-feuille-ciseaux est un principe de jeu basé sur des associations

joueurs ou des personnages non-joueurs sans rapport avec la résolution des problèmes posés ne sont pas des interactions avec la simulation et appartiennent au « décorum ».

### III.2.5. Facette 4 : Problèmes et progression



Quels problèmes faire résoudre à l'apprenant-joueur ? Définition de la progression dans les niveaux/missions du jeu sérieux.

Les jeux sérieux sont à la fois des jeux et des outils d'apprentissage. Dans les jeux, la progression est conçue pour soutenir la motivation du joueur, dans les systèmes d'apprentissage elle permet de faire progresser l'apprenant. La progression est donc au centre de la problématique de l'articulation entre motivation et apprentissage dans les jeux sérieux. La synthèse de ces deux besoins s'appuie à la fois sur l'expertise des *game designers* et celle des pédagogues. Ainsi, les problèmes posés à l'apprenant-joueur doivent être résolus en interagissant avec le modèle formel du domaine. Comme nous l'avons détaillé dans la section III.1 p.29, c'est la nature des problèmes, des moyens de proposer des réponses, et la sensibilité de la simulation aux réponses erronées qui vont façonner la progression de l'apprenant-joueur. Les deux types d'experts doivent donc collaborer pour proposer une succession de défis qui reposent de façon équilibrée sur ces problèmes tout en soutenant la motivation. Il faut donc veiller à ce que ce travail repose à la fois sur un parcours pédagogique modélisé avec les objectifs pédagogiques exprimés dans la facette 1 (voir p.33) et sur un parcours ludique (axé sur le concept de montée en compétences caractéristiques des jeux vidéo [Schell, 2008 ; Levieux, 2011]).

Il est également nécessaire, à la fois pour soutenir la motivation et pour faciliter l'apprentissage et la méta-cognition de fournir à l'apprenant-joueur, et parfois aussi à ses formateurs, un retour d'information (*feedback*) adapté : à la fois ludique et pédagogique.

Par exemple, dans le jeu sérieux *Americas-Army 3*<sup>8</sup>, les progrès de l'apprenant-joueur à la fois dans le jeu et dans les compétences du domaine sont « réifiés » sous forme de badges présentés dans un tableau d'honneur (Figure 12).

8 <http://www.americasarmy.com/>



**Figure 12 :** Tableau d'honneur dans le jeu sérieux *Americas-Army 3*. Il montre comment des médailles réifient les compétences du joueur.

### III.2.6. Facette 5 : Décorum

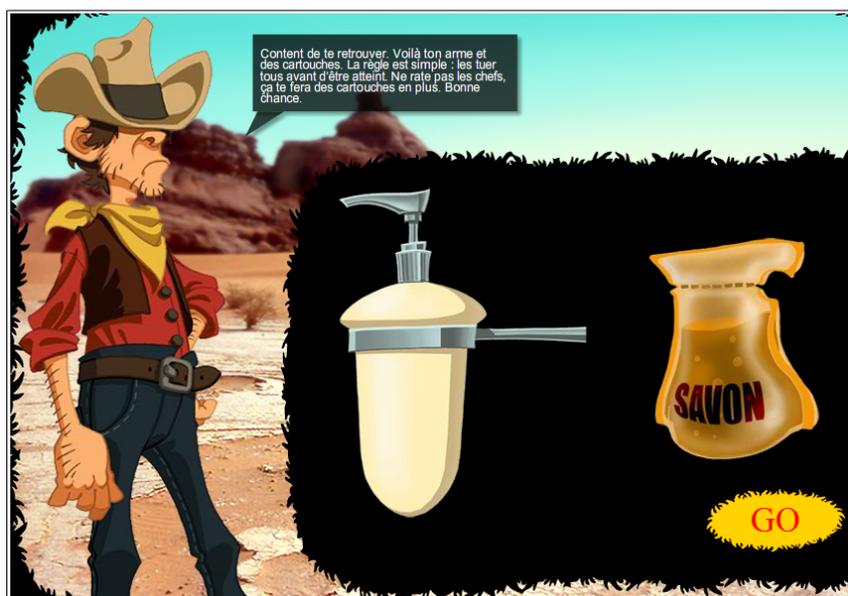


Par quels éléments scénaristiques et multimédias procurer du plaisir à l'apprenant-joueur ? Définition du « décorum ».

Le décorum contient à la fois les éléments scénaristiques et les productions graphiques et sonores soutenant la motivation des apprenants-joueurs. Mais, le décorum contient aussi les interactions que l'apprenant-joueur peut avoir avec l'univers qui lui est proposé et qui sont en marge de la manipulation de la simulation du domaine présentée dans la facette 3 (voir p.35). La personnalisation de l'avatar, par exemple : s'il est souhaitable qu'elle soit en rapport avec le domaine enseigné, elle ne permet pas souvent de manipuler la simulation du domaine.

Par exemple, dans le jeu sérieux *Prévenir la grippe H1N1*<sup>9</sup> où il est question d'aider des cowboys à combattre des aliens qui représentent la grippe, l'atmosphère comique fondée sur une situation absurde crée un décorum susceptible d'augmenter la motivation des joueurs (voir la Figure 13).

<sup>9</sup> <http://prevenirh1n1.qoveo.com/>



**Figure 13 :** Dans le jeu *Prévenir la Grippe H1N1*, le décorum est un des éléments de motivation pour l'apprenant-joueur.

Bien que le décorum soit plutôt destiné aux experts du jeu vidéo (*game designers*, bruiteurs, musiciens, graphistes, scénaristes, etc.), il peut être efficace, pour articuler apprentissage et motivation, d'y faire appel à des éléments du domaine.

### III.2.7. Facette 6 : Conditions d'utilisation



Comment exploiter le jeu sérieux en conservant ses qualités pédagogiques et ludiques ? Définition des conditions d'utilisation du jeu sérieux.

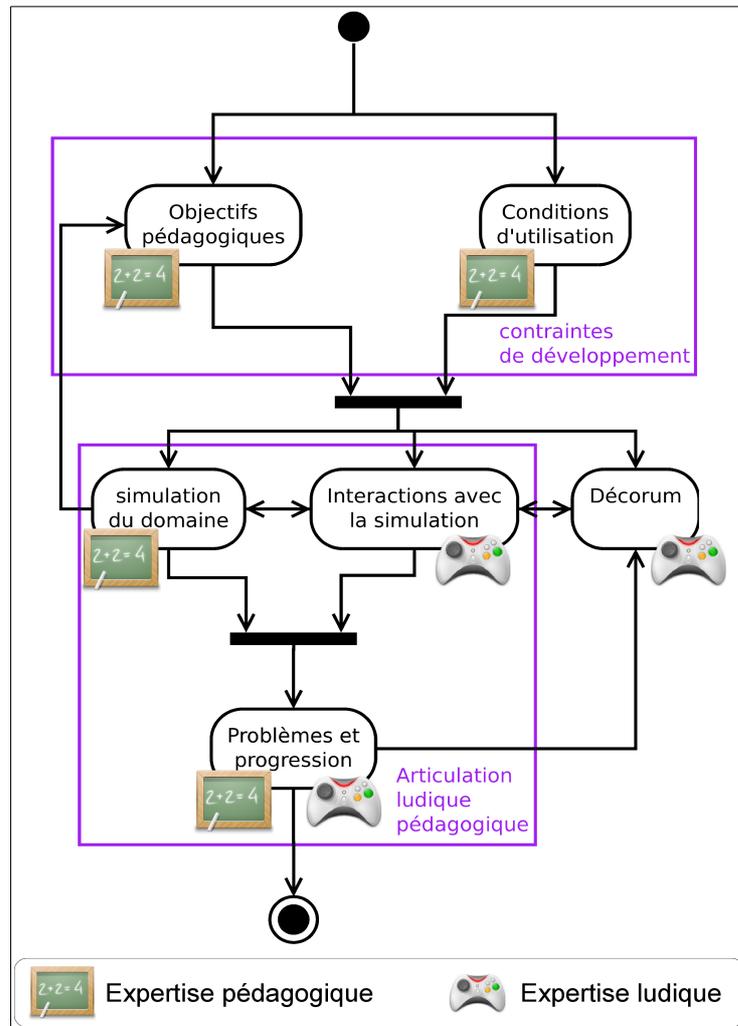
Enfin, un jeu sérieux est souvent conçu pour être utilisé dans un certain contexte : sur un lieu de formation ou chez l'apprenant-joueur, assisté par un tuteur/formateur ou non, en jeu solo ou à plusieurs, avec des parties d'une durée définie ou non, avec un cursus fondé uniquement sur le jeu sérieux ou sur d'autres supports, etc.

Ce sont les pédagogues du domaine qui sont les experts les plus qualifiés pour le définir. Mais ils prendront avis sur les *game designers* pour veiller à ce que ces conditions restent motivantes pour les apprenants.

Par exemple, dans le jeu sérieux *Donjons & Radon* il est prévu que chaque niveau dure environ 30min afin d'être intégré dans une séance de cours d'une heure.

### III.2.8. Un exemple de workflow pour les 6 facettes

En étudiant « *postmortem* »<sup>10</sup> les documents de conception de certains jeux sérieux des entreprises avec lesquels l'équipe MOCAH a des partenariats, il est possible de proposer un exemple d'organisation des facettes de la conception de ces jeux sérieux dans un graphe de précedence, présenté sous la forme de *workflow* sur la Figure 14.



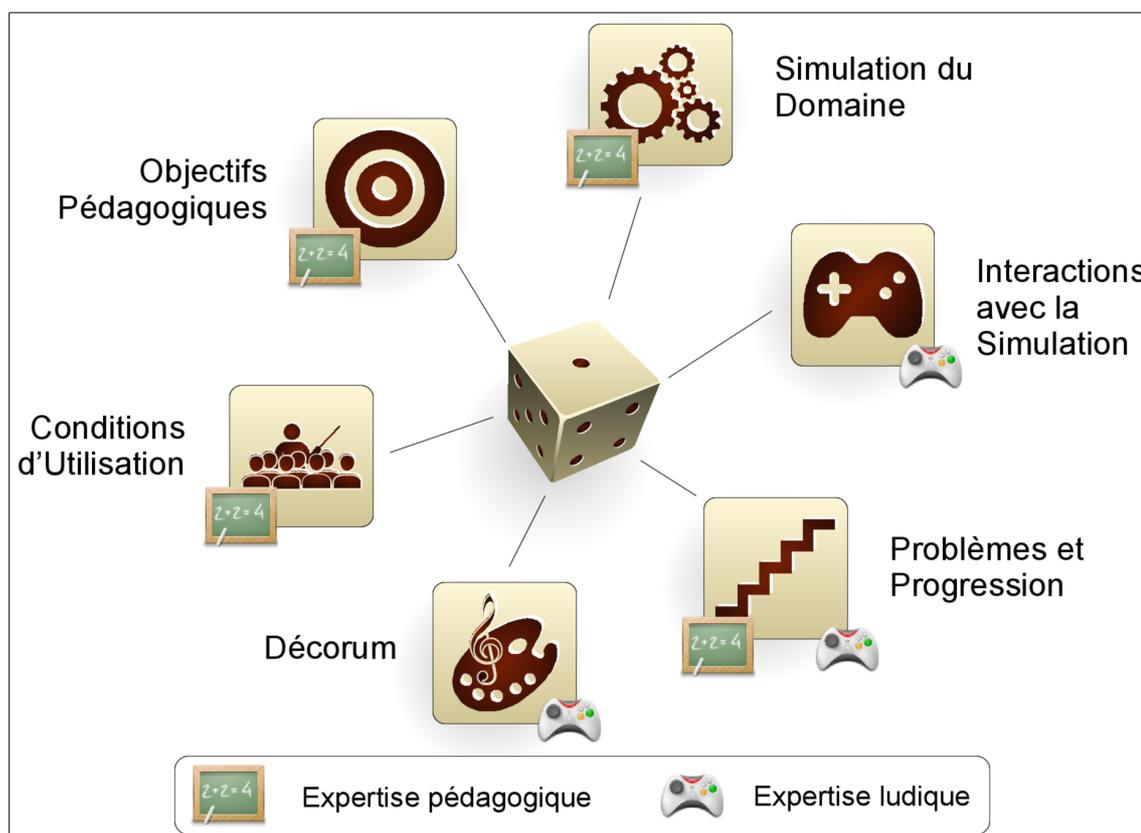
**Figure 14 :** Diagramme d'un exemple de workflow avec les 6 facettes de la conception des jeux sérieux.

Les *contraintes de développement* y sont définies par les **objectifs pédagogiques** et les **conditions d'utilisation**. Elles précèdent les autres travaux de conception. Souvent, le **décorum** est construit en parallèle du reste. Le cœur de l'*articulation entre la motivation (ludique) et l'apprentissage (pédagogique)* est construit par les facettes de **simulation du domaine**, de conception des **interactions avec cette simulation** et d'établissement des **problèmes et de leur progression**. De nombreux allers-retours sont nécessaires pour affiner les contenus développés dans chacune des facettes

<sup>10</sup> *Post-mortem* est un terme souvent utilisé par les *game designers* pour analyser la conception après le pic d'exploitation commerciale d'un jeu vidéo.

comme le montre la Figure 14. Mais au contraire de ce que cette représentation du *workflow* suggère, nous préférons considérer que les facettes sont un outil de questionnement et qu'à l'exception de la première facette qui doit être traitée en premier (voir p.33), elles ne sont pas ordonnées *a priori*.

### III.2.9. Récapitulatif des 6 facettes de la conception des jeux sérieux



**Figure 15 :** Les 6 facettes de la conception des jeux sérieux et les experts de chacune d'elles

Ainsi, nous résumons sur la Figure 15 les 6 facettes de la conception des jeux sérieux non pas comme un *workflow* plus ou moins linéaire, mais, à l'instar de [Schell, 2008] qui propose ses *lenses* sous forme de cartes à jouer, comme les facettes d'un dé. Elles figurent ainsi les différents aspects d'un même objet : la conception d'un jeu sérieux. Elles sont accompagnées d'icônes montrant quels sont leurs experts principaux. **Expertise pédagogique** (experts du domaine, experts pédagogues, ingénieurs de la connaissance), **expertise ludique** (Game/level designers, scénaristes, graphistes, musiciens, bruiteurs, mais aussi programmeurs spécialisés). Notez que la facette « *Problèmes et Progression* » place les deux types d'experts au même niveau : cette facette est notamment au cœur de la métaphore intrinsèque.

Les facettes de la conception des jeux sérieux permettent donc d'analyser la conception, soit pendant son cours, soit à postériori sous différents angles déterminés par les problématiques que nous avons présentées.

Elles clarifient donc à chaque étape ce qui doit être conçu et permettent aux intervenants d'identifier les objectifs et de se repérer dans la conception.

Un des autres avantages des 6 facettes de la conception des jeux sérieux est de désigner pour chacune d'entre elles le type d'experts le plus qualifié pour chaque aspect de la conception, ce qui permet à chaque concepteur de se situer par rapport à cette expertise. Cependant, si l'on peut identifier le type d'experts le plus qualifié pour une facette donnée, ce type d'experts ne doit pas être le seul impliqué dans cet aspect de la conception. Une conception participative et donc la collaboration entre les deux types d'experts reste nécessaire à tous les niveaux [Muller, 2003 ; Namioka & Schuler, 1993]. Elle est indispensable pour permettre une bonne articulation entre les aspects pédagogiques et ludiques dans une métaphore intrinsèque. Justement, dans la conception de jeux avec ce type de métaphore, l'expérience de l'équipe MOCAH montre que ce sont souvent les experts ludiques qui prennent la main lors de la conception au détriment des aspects pédagogiques du jeu. Ainsi, l'un des buts de l'identification des experts par les facettes est de remettre les enseignants au cœur de la conception : quand ils sont experts, bien sûr... mais aussi dans les phases où ils ne le sont pas, mais au cours desquelles leurs compétences sont néanmoins toujours requises.

Par conséquent se pose toujours la question de comment faire comprendre et partager les compétences des experts d'une facette à ceux qui ne le sont pas ?

Pour partager la connaissance et construire un langage permettant aux deux catégories d'experts de collaborer avec le but commun de faire des jeux sérieux mêlant motivation et apprentissage, l'équipe MOCAH a choisi d'utiliser des patrons de conception. Ils viennent compléter les 6 facettes de la conception des jeux sérieux et nous aider à répondre à la question de recherche.

---

## ***IV. Un outil méthodologique à utiliser dans les 6 facettes : les patrons de conception***

---

Les 6 facettes que nous venons de présenter permettent de mieux saisir les différents aspects de la conception des jeux sérieux en comprenant les problématiques principales et les solutions les plus efficaces. Elles permettent aussi d'identifier les experts les plus qualifiés. Cependant, les solutions identifiées grâce aux facettes restent très générales et un gros travail reste nécessaire pour les différents concepteurs. Au cours de ce travail, les experts les plus qualifiés doivent collaborer efficacement avec les autres concepteurs. Et pour cela, il faut des outils pour leur permettre de partager leurs savoirs, leurs méthodes et leur vocabulaire.

Il existe un outil pour compiler le savoir, les méthodes d'experts afin d'en former un langage, il s'agit des patrons de conception [Alexander et al., 1977] (*design patterns*).

### **IV.1. Les patrons de conception : un vocabulaire pour faciliter la conception participative**

---

Dans le domaine de l'architecture, [Alexander et al., 1977] a compilé les bonnes pratiques dans une bibliothèque de patrons de conception semi-formelle. Son but était à la fois de donner un outil de référence pour tous ceux qui souhaitent participer à la conception des villes et des habitations, mais aussi un outil de communication entre toutes les autres parties prenantes de tels projets de conception : architectes, clients, utilisateurs, citoyens, etc. Les patrons de conception selon [Alexander et al., 1977] sont ainsi organisés en langage de patron grâce à aux liens qui sont tissés entre eux.

## IV.2. État de l'art des bibliothèques de patrons de conception pour les jeux sérieux et de leur collecte

---

Bien que le concept des patrons de conception ait du succès dans le domaine de l'informatique et soit utilisé dans des domaines divers, peu de travaux sur les patrons de conception s'intéressent aux jeux sérieux. Nous avons donc étendu notre étude de l'état de l'art aux patrons de conception pour les systèmes EIAH et les jeux vidéo. Par ailleurs, nous concentrons notre attention sur les patrons de conception qui suivent la logique instaurée par [Alexander et al., 1977] : des patrons de conception fondés sur de bonnes pratiques qui sont rédigés et organisés de façon à former un langage de patrons [Meszaros & Doble, 1997] à même de permettre aux parties prenantes de les utiliser pour discuter sur les projets en cours. Nous recherchons cette structure pour deux raisons, d'abord parce que ses objectifs correspondent aux nôtres : aider les différents experts à échanger et collaborer. Ensuite, parce que dans les bibliothèques de patrons mal structurées, la recherche, l'utilisation et l'ajout de nouveaux patrons sont plus difficiles.

Ainsi nous avons trouvé de nombreux travaux sur les patrons de conception dans le domaine des EIAH, comme dans l'apprentissage actif (*active learning*) [Bergin, 2006], les LMS (*Learning Management Systems*) [Paris Avgeriou et al., 2003], les systèmes de tuteurs intelligents [Devedzic & Harrer, 2005], ou sur le suivi des apprenants [Delozanne et al., 2007]. Mais aucun de ces travaux ne prend en compte d'aspect ludique et ne s'intéresse à faire cohabiter les aspects ludiques et pédagogiques dans une métaphore intrinsèque.

Dans le domaine des jeux sérieux et des jeux vidéo, il existe des bibliothèques de patrons de conception. Mais, certaines d'entre elles n'ont pas l'organisation nécessaire pour former un langage de patrons. C'est le cas des onze patrons de conception pour les jeux éducatifs de [Plass & Homer, 2009] qui ne sont pas classés. C'est aussi le cas de la bibliothèque collaborative géante de patrons de conception pour le *game design* de [Barwood & Falstein, 2001] qui contient plus de 400 patrons de conception référencés par des domaines, mais dans laquelle il est bien difficile de trouver ce que l'on cherche, car présentés sous forme de liste, il faudra en lire l'intégralité pour l'utiliser.

Au contraire, certaines bibliothèques ont une organisation proche de celle conseillée par [Alexander et al., 1977 ; Meszaros & Doble, 1997]. C'est-à-dire d'une part que les patrons doivent faire référence les uns aux autres (du plus général au plus spécifique). D'autre part une structure globale simple à aborder et à comprendre. Cette structure doit correspondre aux tâches de conception.

Parmi les bibliothèques structurées de patrons de conceptions pour les jeux sérieux et les jeux vidéo en général, celle de [Gee, 2007] propose une liste de « *principes* » à suivre pour pouvoir concevoir des jeux « non sérieux » utilisables dans un contexte d'apprentissage et qui sont classés par problématique de conception. Plus centrée sur les jeux sérieux, la bibliothèque de patrons de conception de [Aldrich, 2009] est organisée de façon encyclopédique. Elle propose des patrons de conception pour la simulation ludique. Pourtant, cette structure très hiérarchisée ne semble pas assez « horizontale » et donc trop complexe pour servir de langage de patrons. Il

paraît difficile d'y puiser vocabulaire et méthode pour échanger entre experts et non-experts. À l'inverse, les « *lenses* » de [Schell, 2008] constituent une bibliothèque d'une centaine de questionnements que les concepteurs peuvent se poser (voir aussi notre état de l'art sur les cadres de conception p.26). Sa structure est bien plus horizontalisée et clairement accessible, notamment parce qu'elle est orientée vers le *workflow* générique de la conception des jeux vidéo. Cependant, comme nous l'avons vu dans la section II (p.26), les travaux de [Schell, 2008] ne portent pas vraiment sur les jeux sérieux.

Finalement, nous avons préféré retenir les bibliothèques de [Kiili, 2007] et [Björk & Holopainen, 2005], principalement pour leurs structures compatibles avec les recommandations de [Meszaros & Doble, 1997], mais aussi pour la nature des patrons qu'elles contiennent, qui correspondent bien à nos questions de recherche.

La bibliothèque de [Björk & Holopainen, 2005] contient environ 200 patrons de conception pour le *game design* structurés en langage de patron, c'est-à-dire qu'ils sont reliés les uns aux autres. Les auteurs indiquent par ailleurs, tout comme le recommande [Alexander et al., 1977], que leur bibliothèque n'a pas pour but définir ce qui est bon, ni même de servir de guide. Leur but est plutôt de cataloguer les références connues dans le but de construire un vocabulaire pour permettre aux acteurs de discuter de la conception. Cela correspond parfaitement à notre besoin de faire communiquer entre eux des experts différents. Cependant, ces patrons de conception sont complètement centrés sur le jeu vidéo. S'ils peuvent être utilisés pour aider à fonder le *game design*, ils ne serviront pas facilement à mêler ces aspects ludiques avec les aspects pédagogiques. [Kelle et al., 2011] ont commencé un travail de reclassement des patrons de conception de [Björk & Holopainen, 2005] selon des fonctions pédagogiques. Nous aussi, nous avons réutilisé des patrons de conception de cette bibliothèque. Nous en avons repris certains tels quels, comme « *Levels* », en changeant seulement leur structure pour qu'ils s'adaptent aux recommandations de [Meszaros & Doble, 1997]. D'autres ont été adaptés pour permettre le métissage de la motivation et de l'apprentissage comme « *Boss Monster* » ou « *Objectifs hiérarchisés et pédagogiques* » (voir p.50). Ces patrons, issus de [Björk & Holopainen, 2005], peuvent être repérés dans notre bibliothèque présentée dans le Tableau 2 p.48 par la mention « (GD) ».

La bibliothèque de patrons de conception de [Kiili, 2007] est au contraire centrée sur les jeux sérieux et plus exactement sur l'articulation entre ludique et pédagogique. Malheureusement, ils sont très peu nombreux : seulement huit, classés en six catégories et issus de l'expérience de conception d'un unique jeu (*AnimalClass*). C'est bien moins diversifié que les 200 de [Björk & Holopainen, 2005] qui sont issus d'entretiens avec sept *game designers*, ou que ceux de [Gee, 2007] qui sont issus de l'analyse de nombreux jeux à succès détournés pour l'apprentissage, etc. Les patrons de conception de [Kiili, 2007] que nous avons retenus peuvent être reconnus par la mention « (K) » (voir le Tableau 2 p.48).

Nous nous sommes donc en partie fondés sur les patrons de conception existants pour construire notre propre bibliothèque, selon la méthodologie que nous allons voir dans la section suivante.

### IV.3. Méthodologie d'extraction des patrons de conception

---

Comme nous venons de le voir, la littérature scientifique ne nous a pas apporté assez d'éléments pour construire une bibliothèque de patrons de conception cohérente, facilitant une conception participative impliquant les différentes catégories d'experts en les aidant à communiquer afin de concevoir des jeux sérieux mêlant motivation et apprentissage. Nous avons dû compléter et structurer les patrons de conception que nous avons pu collecter grâce à notre état de l'art. Pour structurer, nous avons bien sûr choisi d'utiliser notre cadre de conception destiné à aider les experts à collaborer : les 6 facettes de la conception des jeux sérieux (voir la section III p.29). Pour compléter la bibliothèque, nous avons choisi une approche empirique (*bottom-up*).

Après avoir collecté les patrons de conception qui étaient pertinents dans la littérature (voir la section précédente), nous avons mené une analyse en profondeur des documents de conception de jeux sérieux que nous avons à notre disposition. Il s'agissait de documents fournis par KTM-Advance<sup>11</sup>. C'est une entreprise partenaire de l'équipe MOCAH qui conçoit des jeux sérieux qui ne sont pas seulement fondés sur des quiz, mais plutôt fondés sur une métaphore intrinsèque. Il s'agissait des jeux sérieux *StarBank*, *Blossom Flowers*, *Hairz' Island* et *Ludiville*.

Nous avons complété cette enquête par des entretiens avec plusieurs *game* et *serious game designers* de ce partenaire et venant d'autres horizons, ainsi qu'avec des chercheurs du domaine. Enfin, nous avons analysé en détail une vingtaine des plus célèbres des jeux sérieux référencés dans la base de données *Serious Game Classification Library*<sup>12</sup> [Djaouti et al., 2008].

Pour chacune des six facettes de la conception des jeux sérieux, nous avons compilé l'ensemble des données concernant les modalités de conception, les connaissances et les méthodes découvertes. Ainsi, nous avons essayé de recenser les problèmes les plus courants pour chaque facette, et de compiler les solutions les plus intéressantes que nous avons collectées en utilisant les patrons de conception pour concevoir des patrons de conception de [Meszaros & Doble, 1997].

### IV.4. Bibliothèque de patrons de conception de l'équipe MOCAH

---

La bibliothèque de l'équipe MOCAH contient actuellement 44 patrons de conception, ventilés dans les 6 facettes de la conception des jeux sérieux. Ainsi, pour chaque aspect de la conception, les intervenants peuvent aller chercher des patrons, comme source d'inspiration, mais surtout comme outil d'exemplification, pour communiquer entre-eux et permettre à chacun de comprendre les méthodes des experts.

Dans un premier temps, nous allons voir un tableau récapitulatif des patrons de conception, puis il sera illustré par deux exemples détaillés.

---

11 <http://www.ktm-advance.com>

12 <http://serious.gameclassification.com/EN/>

#### **IV.4.1. Description du langage de patrons utilisé**

La liste des patrons de conception actuellement en ligne dans notre bibliothèque est présentée dans le Tableau 2 ci-après.

La bibliothèque de patrons de conception de l'équipe MOCAH est également accessible sur son site : <http://seriousgames.lip6.fr/DesignPatterns/>. Le site propose la possibilité d'interagir avec les patrons de conception : les noter, les commenter, les traduire, les modifier et en proposer de nouveaux.

Les patrons de conception sont structurés à la façon de [Meszaros & Doble, 1997], c'est-à-dire qu'ils sont composés de plusieurs éléments : un **contexte** qui décrit les conditions dans lesquelles se trouvent les concepteurs. Un **problème** qui évoque de façon générale les problématiques en jeu dans ce contexte. Des **forces** qui détaillent le problème sous la forme de contraintes de conception. Une **solution** issue des meilleures pratiques du domaine. Elle s'accompagne d'un ou plusieurs **exemples**. Enfin, pour former un langage de patrons, les patrons de conception sont reliés à d'autres : les **patrons de conception connexes** (qui peuvent aussi se trouver dans d'autres bibliothèques de patrons de conception comme celle de [Björk & Holopainen, 2005]). Cette structure est imposée, mais par souci de souplesse, nous n'avons pas imposé que chaque élément de la structure soit présent. Ainsi, certains patrons n'ont que certains éléments de la structure. Les exemples présentés *in extenso*, à titre d'illustration, dans les prochaines sections possèdent chacun de ces éléments.

#### **IV.4.2. Tableau de synthèse des patrons de conception**

Facette	Liste de patrons de conception	
 <p><b>Facette 1 : Objectifs pédagogiques</b></p>	– Catégorisation des compétences	– Tarification jouabilité/objectifs pédagogiques
 <p><b>Facette 2 : Simulation du domaine</b></p>	– Simuler les cas particuliers – Modéliser les misconceptions – Les éléments non simulables	– Ne pas tout simuler – Un simulateur précoce
 <p><b>Facette 3 : Interactions avec la simulation</b></p>	– Musée – Interactions sociales pédagogiques – Serious Boss – Effet du protégé (K) – Indicateurs avancés – Validation des compétences externes – Questions - réponses – Perspectives nouvelles	– Gameplays pédagogiques – Interactions avec un micromonde – Feedbacks rapides – Apprenant virtuel (K) – Interactions en situation – Interactions pavloviennes – Débriefing – Un temps pour agir, un temps pour réfléchir
 <p><b>Facette 4 : Problèmes et progression</b></p>	– Succès graduels – Surprise – Courbe progressive d'apprentissage (GD) – Récompenses – Niveaux (GD)	– Maîtrise du jeu – Chacun son rythme de progression – Réifier les compétences – Objectifs hiérarchisés et pédagogiques (GD)
 <p><b>Facette 5 : Décorum</b></p>	– Objets de collection – Compétition locale – Foule loquace – Cérémonie – Monde motivant – Monde fantastique	– Structures narratives (GD) – Gameplays variés – Écrans de chargement informatifs – Introduction hollywoodienne – Monde comique
 <p><b>Facette 6 : Conditions d'utilisation</b></p>	– Deux joueurs devant l'écran	

**Tableau 2 :** Tableau de synthèse des patrons de conception pour le jeu sérieux présents dans la bibliothèque de l'équipe MOCAH (Les patrons de conception suivis de la lettre « K » sont issus des travaux de [Kiili, 2007], ceux qui sont suivis de « GD » sont issus des travaux de [Björk & Holopainen, 2005]).

#### IV.4.3. Exemple 1 : Un temps pour agir, un temps pour réfléchir

##### a) Contexte :

Vous êtes en train de concevoir un métissage entre jeu et apprentissage avec une liste d'objectifs pédagogiques contenant l'apprentissage de connaissances de haut niveau.

**b) Problème :**

Comment faire apprendre des connaissances de haut niveau alors que les joueurs sont immergés dans le jeu ?

**c) Forces :**

À cause de la surcharge cognitive, il est difficile pour les apprenants-joueurs de se concentrer à la fois sur les interactions dans le jeu et à la fois sur la vision globale nécessaire à une compréhension de haut niveau. En effet, souvent les jeux vidéo reposent sur des interactions rapides, voire immédiates, alors que l'apprentissage nécessite souvent de prendre du recul par rapport aux problèmes posés pour prendre temps de bien choisir quoi faire. La méta-cognition nécessite aussi souvent de sortir de l'immersion, alors que c'est une des sources de la motivation dans les jeux vidéo.

**d) Solution :**

L'utilisation d'une phase d'action intensive est une bonne idée pour entraîner les apprenants-joueurs sur des compétences procédurales. C'est aussi une bonne idée de créer des phases moins intenses pour laisser de la place pour la réflexion et l'analyse.

Certains disent que jouer et apprendre sont antagonistes, alors que le réel antagonisme serait plutôt entre « agir » (faire quelque chose) et « réfléchir » (prendre du recul pour évaluer ce qui doit être fait et ce qui a été fait). Dans « *Foundation for problem-based gaming* », sur l'analyse des jeux fondés sur des problèmes, [Kiili, 2007] souligne la nécessité de phases de réflexion, notamment pour faire la synthèse de ce que l'on a appris, pour valider les hypothèses ou des stratégies que l'on a testées (« *personal synthesis of knowledge, validation of hypothesis laid or a new playing strategy to be tested* »). Comme dans les phases d'action, l'apprenant-joueur est impliqué émotionnellement et concentré sur ses objectifs, il est assez peu probable qu'il puisse en même temps avoir une pensée réflexive sur son apprentissage dans le jeu. Les jeux qui allient action et réflexion sont structurés autour de deux phases différentes : une pour l'action, une autre pour la réflexion. D'ailleurs, dans les jeux vidéo, comme dans les films à suspense, des scènes plus détendues, voire comiques, permettent de relâcher la pression.

**e) Exemples :**

Les exemples sont nombreux dans le jeu vidéo, notamment dans le genre « *Tower Defense* » comme *Warcraft III* ou *Plants vs. Zombies*. Dans ce genre de jeu, c'est l'alternance entre les phases d'action et de réflexion qui compose le cœur du jeu. Dans ce genre, il y a aussi des jeux sérieux séparant le temps pour réfléchir du temps pour agir (voir la Figure 16). C'est le cas de « *Le Jardinier écolo* » ou du jeu « *Défenses Immunitaires* » sur lequel l'équipe MOCAH travaille (il existe aussi d'autres projets similaires [Clements et al., 2009]).



**Figure 16 :** Captures d'écrans de jeux sérieux de type « Tower Defense » : à gauche le jeu « Le jardinier écolo », à droite, l'un des prototypes du jeu « Défenses Immunitaires ». Ces jeux sérieux ont deux phases : une pour réfléchir, une pour agir.

Des jeux célèbres comme *L.A. Noire* ou *Uncharted* sont aussi de bons exemples de jeux où l'alternance dans le scénario de phases d'action et de réflexion est au cœur de l'histoire.

**f) Patrons de conception connexes :**

- *Gameplays pédagogiques*
- *Débriefing*
- *Réifier les compétences*
- *Indicateurs avancés*

**g) Facette :**

Ce patron de conception est classé dans la facette n°3, *Interactions avec la Simulation* (voir p.35).

**IV.4.4. Exemple 2 : Objectifs hiérarchisés et pédagogiques**

**a) Contexte :**

Vous avez modélisé un domaine et sa pédagogie (*Catégorisation des compétences*<sup>13</sup>) et vous scénarisez votre jeu sérieux afin que les objectifs pédagogiques soient harmonieusement mêlés aux objectifs ludiques.

**b) Problème :**

Comment enchaîner les objectifs pédagogiques et ludiques dans la scénarisation ?

Comment faire pour que le scénario enchaîne les objectifs pédagogiques de façon cohérente tout en restant ludique et tienne compte des performances et des choix des joueurs.

13 Nous notons habituellement les patrons de conception en italiques.

**c) Forces :**

L'enchaînement des objectifs pédagogiques est l'occasion de veiller à ce que le joueur ait une motivation intrinsèque [Egenfeldt-Nielsen, 2006], c'est-à-dire que « *La réussite au jeu découle donc directement de la compréhension du contenu sérieux* » [Djaouti, 2011]. Il s'agit donc de bien faire correspondre et articuler les objectifs pédagogiques et ludiques.

De plus, il faut que la scénarisation soit suffisamment souple pour que le joueur puisse suivre différents parcours. Ces différents parcours ont pour but de correspondre aux différents types de progression de l'apprenant dans le domaine enseigné. Ils ont aussi pour but de donner une impression de maîtrise au joueur en lui donnant la possibilité de faire des choix (*Chacun son rythme de progression*) qui ont une influence sur le déroulement du jeu, de choisir des objectifs secondaires, en visant notamment la rejouabilité.

**d) Solution :**

Dans les jeux, il y a toujours des objectifs dont l'accomplissement est nécessaire pour passer à l'étape suivante. Et le plus souvent, ces objectifs sont découpés en sous-objectifs plus élémentaires pour former une hiérarchie [Björk & Holopainen, 2005]. Ces objectifs peuvent être basiques (ex. : atteindre un objet) ou complexes (ex. : accomplir une quête mettant en jeu de nombreux sous-objectifs).

Les activités les plus simples comme « atteindre un objet » sont combinées en activités plus complexes comme « accomplir une quête ». Ces activités plus complexes sont qualifiées de niveaux si les objectifs pédagogiques et ludiques sont suffisants pour les pédagogues et sont tangibles pour le joueur, car l'accomplissement de chaque objectif du jeu correspond à l'accomplissement d'objectifs pédagogiques définis.

Le point de départ pour construire une hiérarchie d'objectifs pédagogiques et ludiques est de commencer par une *Catégorisation des compétences*, c'est-à-dire décomposer les objectifs pédagogiques à atteindre en compétences et sous-compétences hiérarchisées par nécessité, importance et précédence. C'est à partir de ce travail que le scénario est construit : une succession d'activités ou d'exercices. Selon leur granularité, cette succession peut correspondre à des *Niveaux (GD)*. Ces activités, dans le contexte du jeu sérieux, sont caractérisées par des compétences ou objectifs pédagogiques (ce que l'apprenant peut apprendre en y jouant), mais aussi par des caractéristiques propres au jeu vidéo (éléments scénaristiques, objets, et même, compétences ou objectifs ludiques).

La succession de ces objectifs est parfois simplement linéaire : à chaque fois qu'ils sont atteints, le joueur passe aux objectifs suivants. Les successions sont aussi parfois non linéaires. Elles s'appuient sur des conditions à remplir. En fonction de ces conditions, les objectifs suivants qui seront présentés à travers de nouvelles activités au joueur ne sont pas les mêmes. Il y a donc des branchements entre deux activités ou deux *Niveaux (GD)*, comme dans certains outils de conceptions d'EIAH comme *LAMS* [Dalziel, 2008]. Dans certains cas, ces conditions de branchement concernent la performance du joueur : dans les jeux sérieux ou les jeux vidéo dans lesquels des moyens

d'évaluer le joueur au cours d'une activité ou d'un niveau (ex. : scores) sont présents, le résultat de cette mesure est souvent utilisé pour choisir l'activité ou le niveau suivant. Dans d'autres cas, les conditions de branchement concernent les choix stratégiques du joueur quand il en a la liberté : choix des chemins, des interlocuteurs ou de la tournure d'une conversation, choix des méthodes employées, etc. (*Chacun son rythme de progression*). Certaines activités peuvent ainsi contenir des objectifs secondaires ou de la remédiation pour permettre à des joueurs ne remplissant pas les conditions pour faire une autre activité d'y parvenir quand même par ce détour (*Optional Goal* et *Supporting Goals* [Björk & Holopainen, 2005]).

### e) Exemples :

Dans *CellCraft*, qui est un jeu sérieux dont le but est d'enseigner les mécanismes de fonctionnement des cellules animales et végétales, les objectifs pédagogiques sont regroupés en *Niveaux (GD)* de jeu. À chaque niveau franchi, un palier de compétences est franchi également. Même si la succession de ces objectifs pédagogiques reste linéaire, des scores permettent d'autoriser ou non le joueur à passer au niveau suivant. Des mécaniques similaires se retrouvent dans *Ludiville* ou *Donjons & Radon*.



**Figure 17 :** Capture d'écran de l'Île Environium du jeu *Sciences en Jeu*. Ce dernier est structuré en quêtes et en activités avec des objectifs, dont l'accomplissement trace le parcours de l'apprenant-joueur.

*Science en jeu*<sup>14</sup> est un jeu sérieux de rôle massivement multijoueur en ligne (MMORPG) dont le but est de sensibiliser les joueurs à différents thèmes scientifiques. Le jeu est découpé en quêtes, dont certaines sont indépendantes, d'autres sont dépendantes. Chaque quête est une sorte de *Niveaux (GD)* ayant

<sup>14</sup> <http://www.scienceenjeu.com/>

un ensemble d'objectifs pédagogiques. Le parcours du joueur dans ces objectifs pédagogiques ne sera pas linéaire, mais dépend de la hiérarchie prévue par les concepteurs et régulée par un système de conditions et de branchements (voir la Figure 17 ci-dessus ainsi que la Figure 27 et 28 p.83).

**f) Patrons de conception connexes :**

- *Niveaux (GD)*
- *Optional Goal* [Björk & Holopainen, 2005]
- *Supporting Goals* [Björk & Holopainen, 2005]
- *Chacun son rythme de progression*
- *Catégorisation des compétences*

**g) Facette :**

Ce patron de conception est classé dans la facette n°4, *Problèmes et Progression* (voir p.37).

---

## **V. Évaluation qualitative et discussion sur ces outils méthodologiques**

---

Les outils méthodologiques présentés dans les sections précédentes ont été élaborés en même temps que nous étions impliqués dans des travaux de conception de jeux sérieux avec des partenaires (*Donjons & Radon, Play and Cure, Défenses Immunitaires*, etc.). L'un de nos premiers éléments d'évaluation a donc été de tester nos outils méthodologiques pendant ces travaux de conception. Nous avons aussi mené d'autres types d'observations pour confronter ces outils à leur utilisation dans le contexte de la création de jeux sérieux. Notre but a été d'éprouver les 6 facettes de la conception des jeux sérieux et surtout les patrons de conceptions utilisés avec elles, vis-à-vis de nos objectifs de recherche. Il s'agit d'étudier « *Comment aider les experts pédagogiques à comprendre les buts et les méthodes des experts ludiques ? Et vice versa* », et « *Comment permettre aux différents experts de parler le même langage afin de permettre de collaborer de manière efficace ?* », en se centrant sur les experts pédagogiques que sont les enseignants dont la place dans la conception des jeux sérieux est un des axes de mes questions de recherche.

Les 6 facettes de la conception des jeux sérieux sont un cadre conceptuel qu'il est difficile d'éprouver seul. C'est pourquoi nous avons surtout testé les 6 facettes lors de l'utilisation des patrons de conception. Ces tests furent surtout qualitatifs, car il est assez difficile de mener une évaluation quantitative sur des outils méthodologiques de conception de jeux sérieux, sachant que leur élaboration prend parfois plusieurs mois.

### **V.1. Mise à l'épreuve avec des concepteurs individuels**

---

Nos patrons de conception ont pu être mis à l'épreuve dans des situations variées. Elle s'est faite en deux temps. Le premier temps a été mené par Benjamin Huynh-Kim-Bang dans le cadre d'un post-doctorat financé par un projet FEDER au cours duquel une première ébauche de la bibliothèque de patrons de conception a vu le jour. Impliqué dans cette première évaluation

dans la cadre de mon stage de Master 2 [Marne, 2010], j'ai mené le second temps de la mise à l'épreuve de notre bibliothèque de patrons de conception après en avoir finalisé la structure en la complétant et l'intégrant aux 6 facettes.

Au cours de la première étape de mise à l'épreuve menée par Benjamin Huynh-Kim-Bang, nous avons présenté les premiers patrons de conception à un groupe de vingt étudiants en jeu vidéo de l'ENJMIN<sup>15</sup>. Après la présentation, nous leur avons demandé de remplir un questionnaire, suivi d'entretiens individuels et collectifs.

Les étudiants n'ont pas trouvé notre bibliothèque de patrons de conception très utile. En effet, à ce moment-là, notre bibliothèque contenait surtout des patrons de conception centrés sur le *game design*. Or, ces étudiants étaient justement des spécialistes du *game design* et ils n'apprenaient pas grand-chose avec nos patrons de conception, qui pour eux enfonçaient des portes ouvertes. Toutefois, nous avons déjà quelques patrons de conception centrés sur les aspects pédagogiques ou sur le métissage pédago-ludique. Ceux-ci ont particulièrement intéressé les étudiants, qui ont demandé à en avoir plus. En effet, ils n'étaient pas spécialistes de ce domaine, et les patrons de conception étaient pour eux un moyen d'avoir un aperçu des aspects pédagogiques.

Peu après, Benjamin Huynh-Kim-Bang a pu tester les patrons de conception sur deux enseignants désireux de concevoir des jeux sérieux. L'un enseigne l'anglais à l'UPMC et voulait concevoir un jeu sérieux pour aider les étudiants à postuler dans les universités américaines. J'étais l'autre enseignant : à l'époque en stage de Master 2, j'avais besoin de concevoir un jeu sérieux pour mettre à l'épreuve les outils auteurs sans programmation [Marne, 2010]. En tant qu'enseignant de sciences de la vie et de la Terre en collège je correspondais au profil ciblé. Le premier enseignant a utilisé les patrons de conception dès le début, et a pu en navigant dans la bibliothèque trouver des idées de *game design*. Ainsi, en utilisant le prototype du patron de conception *Game-Based Learning Blend*, il a utilisé une méthode de conception éprouvée (par exemple par KTM-Advance [Capdevila Ibáñez et al., 2009]). L'histoire globale de son jeu sérieux fut conçue à l'aide du patron de conception *Structures narratives (GD)*, et d'autres patrons de conception furent utilisés comme *Un temps pour agir, un temps pour réfléchir* (voir p.48) associé au patron de conception *Débriefing*.

Cet enseignant a trouvé les patrons de conception très utiles, car ils lui ont permis de trouver des idées de *game design* et de comprendre les enjeux du domaine des jeux vidéo, mais aussi de bien organiser son projet tout en soulignant les aspects pédagogiques. Les tests qu'il a pu faire sur un prototype hypertexte auprès de quelques étudiants ont été prometteurs.

Pour ma part, au cours de mon stage de Master 2, j'ai aussi utilisé les prémices de la bibliothèque de patrons de conception pour trouver le bon *gameplay* au jeu sérieux que je voulais créer. Pour moi aussi, c'est le patron de conception *Un temps pour agir, un temps pour réfléchir* qui a été déterminant puisque ses

---

15 L'ENJMIN est « École Nationale du Jeu et des Médias Interactifs Numériques », c'est une des principales écoles de formation aux métiers de jeu vidéo en France. Elle est sise à Angoulême.

principes s'adaptent parfaitement aux problématiques pédagogiques de l'enseignement des défenses immunitaires : notamment, ce patron de conception m'a donné l'idée de l'utilisation du type de *gameplay* « *Tower Defense* » dans lequel deux phases sont bien distinctes. Dans un premier temps l'apprenant-joueur élabore sa stratégie, et dans un second temps, il la teste tout en pouvant éventuellement lui apporter quelques ajustements. D'autres patrons de conception ont aussi été utilisés pour différents aspects du jeu sérieux, par exemple *Chacun son rythme de progression*, *Débriefing*, *Succès graduels*, *Objets de collection*, *Écrans de chargement informatifs*. Il est à noter que depuis, plusieurs prototypes de ce jeu sérieux nommé *Défenses Immunitaires* ont été conçus (voir aussi la Figure 16 p.50 et la section IV.1.1 p.127) et que certains ont été testés auprès d'élèves.

Après avoir analysé ces résultats avec Benjamin Huynh-Kim-Bang, nous avons constaté que contrairement aux étudiants en jeu vidéo, les enseignants ont trouvé les patrons de conception très utiles. Notamment parce que les patrons de conception étaient surtout centrés sur le *game design* et que nous y avons trouvé des réponses ludiques à leurs problématiques pédagogiques. Mais aussi parce que les patrons de conception nous ont permis d'entrer dans un domaine qui ne nous était pas familier : celui du *game design*. Les patrons nous ont donné du vocabulaire, des exemples clés et des outils méthodologiques pour aborder les enjeux de ce domaine.

Pour conclure sur cette première étape de mise à l'épreuve des patrons de conception par des concepteurs individuels, nous retenons que les patrons utiles sont plutôt les patrons qui ne portent pas sur l'expertise des utilisateurs. Ainsi, les étudiants ont préféré les patrons de conception pédagogiques, et les enseignants ont apprécié la bibliothèque pour ses aspects ludiques. Nous en avons déduit que les patrons de conception étaient un bon outil de communication pour informer les non-experts et leur permettre de s'initier à un domaine par son vocabulaire, ses exemples et ses méthodes.

## V.2. Mise à l'épreuve dans une conception participative

---

Les résultats auprès des testeurs individuels ont été très éclairants. Mais pour savoir si nos outils méthodologiques aident à communiquer entre experts différents, mais aussi pour s'assurer qu'ils aidaient bien les enseignants à prendre leur place dans la conception, nous les avons testés dans des situations de conception participative. C'est ce que j'ai eu l'occasion de faire lors d'une deuxième étape de mise à l'épreuve, au cours de la conception du jeu sérieux *Donjons & Radon*<sup>16</sup> à laquelle j'ai participé. Les facettes ont en premier lieu permis d'identifier les aspects de la conception sur lesquels les membres du consortium de *Donjons & Radon* travaillaient. Ainsi, lorsque des problèmes de conception sont apparus, nous les avons circonscrits plus rapidement et nous avons proposé des solutions grâce aux patrons de conception.

---

16 Voir aussi les sections III.2.2 et III.2.3 p.33.

Pour rappel, *Donjons & Radon*<sup>17</sup> est un jeu sérieux destiné à apprendre la physique des changements d'état de l'eau à des élèves de classe de 5e. Il se compose d'un ensemble de puzzles fondés sur les changements d'état de l'eau qui sont répartis dans des salles qui forment des donjons thématiques. Le jeu sérieux a été conçu et développé par un consortium auquel l'équipe MOCAH a pris part, qui était aussi constitué d'Ad-Invaders (une entreprise de conception de jeux vidéo et sérieux), du Pôle Numérique de l'académie de Créteil, du « think tank » COMPAS de l'ENS-ULM, de l'école d'ingénieur Epitech et enfin de Microsoft.

Un des principaux problèmes de conception résolus grâce à nos outils méthodologiques était lié à la fiabilité du premier prototype du jeu par rapport au domaine de la physique. Lorsque le prototype a été présenté en réunion de consortium, l'Inspectrice Pédagogique Régionale (IA-IPR) de Sciences Physiques et Chimiques Fondamentales et Appliquées (SPCFA) a noté que la pression n'était pas prise en compte dans le comportement des changements d'état de l'eau. Bien que la prise en compte de la pression dans le changement d'état de l'eau ne soit pas dans les programmes scolaires du collège, elle était inquiète des représentations fausses que cela risquait de susciter, voire de renforcer dans l'esprit des élèves. Nous nous sommes alors rendu compte que le prototype fonctionnait avec des règles *ad hoc* pour chaque puzzle et que certains puzzles posaient des problèmes de pertinence physique. Ces règles avaient été construites par le *game designer* d'Ad Invaders en se basant sur les programmes scolaires et les manuels de SPCFA. Seulement, un certain nombre d'erreurs et d'imprécisions avaient été introduites, car il n'était pas spécialiste du domaine. D'autres erreurs du même type risquaient d'être introduites tout au long du *game design*, et il n'était pas possible de faire passer systématiquement au peigne fin l'ensemble des mécanismes du jeu sérieux à des experts de l'enseignement des sciences physiques.

Les facettes et les patrons de conception m'ont permis de comprendre ce qui n'allait pas dans la méthode de conception et de proposer des solutions. Ainsi, le jeu sérieux tel qu'il avait été conçu jusque-là n'avait pas de facette de simulation du domaine (Facette n°2, voir p.34) et reposait sur un corpus d'objectifs pédagogiques mal modélisé (Facette n°1, voir p.33). J'ai présenté mon diagnostic au consortium accompagné des patrons de conception proposant des solutions comme *Un simulateur précoce* et *Catégorisation des compétences*. Ainsi, il a été décidé d'une part de construire un modèle du domaine et de sa pédagogie, d'autre part de fonder le *game design* sur une simulation.

Le modèle pédagogique de l'enseignement de la physique des changements d'état de l'eau a été conçu lors d'une réunion avec des enseignants experts de SPCFA. Après leur avoir brièvement présenté *MOT* [Paquette et al., 2006], je leur ai fait construire des modèles de leur cours sur ce chapitre, par groupe de deux ou trois. Puis, le travail a été mis en commun. Ainsi, ce n'est pas un seul modèle qui a été construit, mais plusieurs, permettant d'avoir une vision large

---

17 Le projet « Donjons & radon » est financé par l'appel à projets « *Serious Games* » du secrétariat d'État au développement de l'économie numérique, dans le cadre du volet numérique du plan de relance de l'État français.

de la façon d'enseigner les changements d'état de l'eau (voir l'exemple dans la Figure 9 p.33 à propos de la Facette 1 : Objectifs pédagogiques).

Par la suite, ces modèles ont facilité le travail de conception d'Ad-Invaders sur les aspects pédagogiques et sur le *game design* des autres salles (ou niveaux) du jeu sérieux. Ces modèles ont aussi aidé leur *game designer* à faire le choix de l'ordre des problèmes posés aux apprenants-joueurs.

Pour éviter les problèmes de pertinence des règles incluses dans les puzzles du jeu, j'ai aussi participé à la mise en place d'un simulateur. Pour cette mise en place, nous nous sommes appuyés sur la plupart des patrons de conception de la facette n°2. Ainsi, nous avons, le plus tôt possible, proposé de construire ce simulateur et de fonder dessus les interactions avec l'eau dans les puzzles (*Un simulateur précoce*). Les deux patrons de conception *Les éléments non simulables* et *Ne pas tout simuler* nous ont permis de circonscrire le périmètre de la simulation. En effet, les aspects cinétiques des changements d'état de la matière sont particulièrement complexes et paraissaient difficiles à mettre en œuvre dans une simulation qui, en temps réel, devait consommer peu de ressources de calcul. En discutant avec les développeurs (ingénieurs stagiaires de l'Epitech), le *game designer* (d'Ad-Invaders) et les experts (principalement l'IA-IPR de SPCFA) grâce au vocabulaire et aux exemples donnés par les patrons de conception, nous sommes tombés d'accord sur le modèle formel qui allait servir de base au simulateur : le diagramme de changement d'état de l'eau<sup>18</sup> simplifié en utilisant une pression constante (voir la Figure 10 p.34 à propos de la Facette 2 : Simulation du domaine).

Dans ce contexte de travail avec une équipe multi-expertise, avec les deux types d'experts que nous avons mis en évidence en introduction (p.20), les patrons de conception et les 6 facettes ont permis d'améliorer le jeu final. Notamment, la gouvernance de la conception qui était centrée sur le travail du *game designer* et des développeurs a pu être décentrée vers les experts pédagogiques et du domaine grâce à nos outils méthodologiques. Et les aspects pédagogiques ont été rééquilibrés par rapport aux aspects ludiques.

### V.3. Évaluation quantitative

---

Les éléments d'évaluation des 6 facettes et des patrons de conception présentés dans les sections précédentes sont essentiellement qualitatifs, car il est assez complexe de fournir une évaluation quantitative. Je travaille néanmoins sur deux méthodes qui pourront nous donner quelques éléments quantitatifs.

La première méthode est fondée sur le fait que la bibliothèque de patrons de conception de l'équipe MOCAH est disponible en ligne à tout internaute qui peut consulter, noter et commenter les patrons, mais aussi traduire ou proposer de nouveaux patrons. L'approche de l'évaluation que je propose est de récolter les traces des visiteurs, mais aussi leurs commentaires, notes et corrections proposées. J'ai donc mis en place un système de récolte de trace. Il est

---

18 On appelle aussi « *diagramme du point triple* » le diagramme de changement d'état.

relativement étendu pour de mesurer l'utilisation des patrons de conception selon plusieurs indicateurs :

- *temps passé* sur chaque patron de conception (informations sur l'intérêt qu'y portent les visiteurs).
- *nombre de liens suivis* vers d'autres patrons (indiquer l'efficacité de notre bibliothèque comme langage de patrons)
- *taux de retour* des visiteurs (indicateur pour savoir si des patrons sont adoptés par leurs utilisateurs)

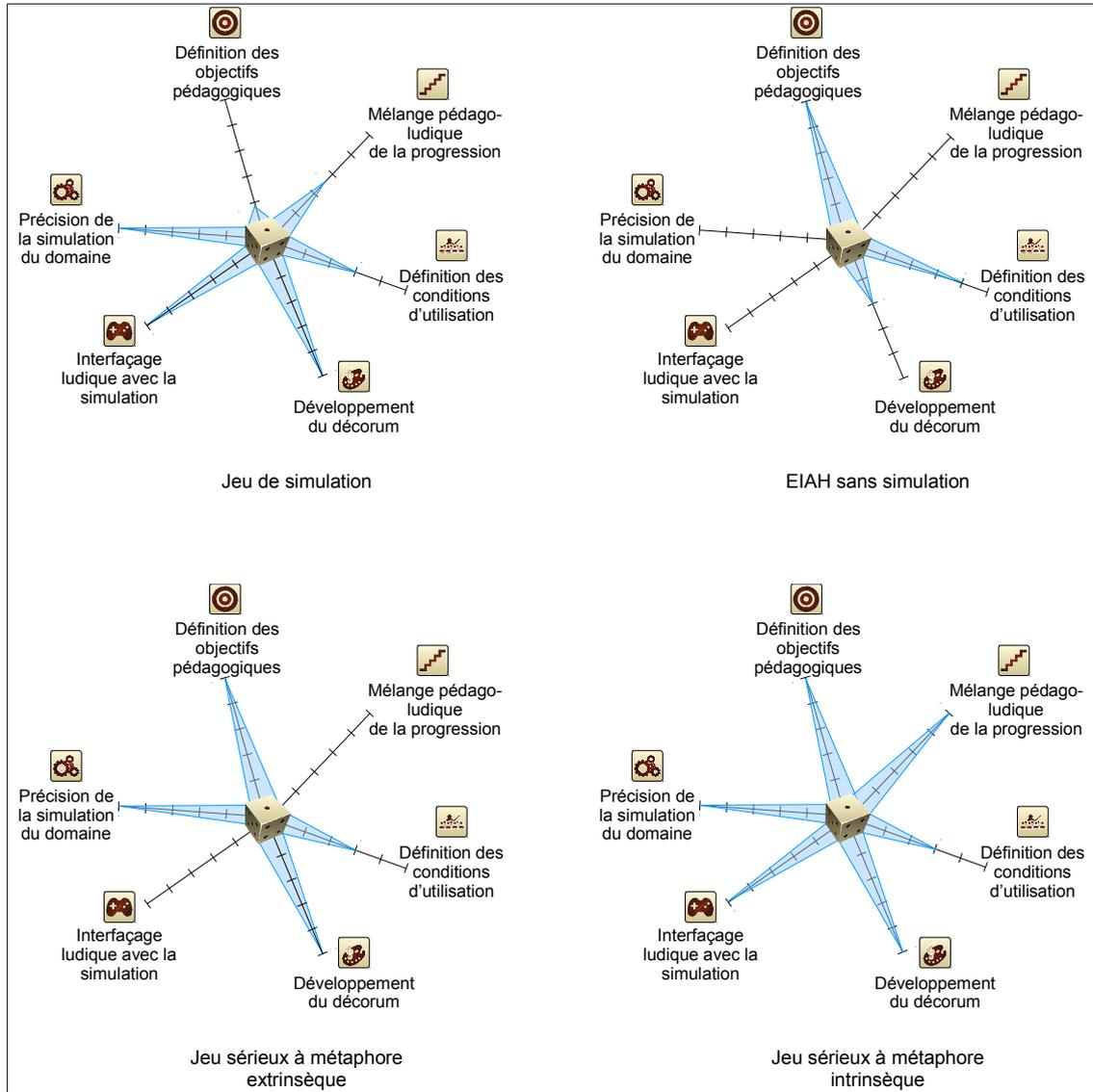
L'équipe MOCAH a par ailleurs d'autres projets d'indicateurs.

Cette approche de l'évaluation quantitative est limitée par certains aspects. D'une part, en l'absence de « bibliothèque témoin » je ne peux que recueillir des informations sur l'efficacité relative des patrons de conception les uns par rapport aux autres. D'autre part, cette efficacité ne sera pas mesurée en terme d'amélioration de la conception des jeux sérieux ou d'aide à la communication entre différents experts, mais seulement en terme d'intérêt des visiteurs pour ces patrons.

La prise de mesure est en cours à l'heure actuelle, car nous avons besoin d'un plus grand nombre de visiteurs uniques pour pouvoir extraire des valeurs significatives : actuellement, et malgré la dissémination scientifique importante [Marne et al., 2011 ; Capdevila Ibáñez et al., 2011 ; Marne et al., 2012a ; Marne et al., 2012b ; Marne & Labat, 2012], la bibliothèque reçoit seulement une moyenne de 6,2 visites par jour. Ce qui représente, à l'heure où ces lignes sont écrites, environ 1200 visiteurs qui y passent plus d'une minute, dont plus de 700 plus de 2 minutes et jusqu'à plus de 2h (la moyenne de la durée des visites des visiteurs connus étant d'environ 4min30).

Pour compenser ces limites, je propose aussi une autre approche de l'évaluation des patrons de conception qui se fonde sur les 6 facettes des jeux sérieux. Étant donné qu'il reste très difficile de mesurer si un jeu sérieux est réussi ou pas, et donc encore plus difficile de savoir si un outil de conception a aidé à réussir un jeu sérieux [Marfisi-Schottman, 2012], je propose de tenter de mesurer la ressemblance entre le jeu sérieux qui a été conçu et celui qui était désiré par l'équipe de conception. C'est-à-dire, mesurer la distance entre les spécifications établies dans les premières étapes de la conception avec les spécifications du produit fini, ou chaque étape de la conception. Pour cela, je propose d'analyser les spécifications grâce à une typologie en cours de mise au point. Cette typologie vise à classer les jeux sérieux et les outils proches (comme les EIAH, les simulations, les jeux vidéo, etc.). Elle se fonde sur les 6 facettes et pour chacune d'elle mesure une valence. Par exemple, pour la facette *Conditions d'utilisation* (voir p.39), certains projets ont tendance à bien définir dès le départ comment le jeu sérieux sera utilisé par les apprenants-joueurs (c'est le cas de *Donjons & Radon*). Dans d'autres projets de jeu sérieux, les concepteurs ne définissent pas précisément les conditions d'utilisation et préfèrent laisser plus de liberté, c'est-à-dire en laisser l'usage déterminer ces conditions. Il s'agit donc de deux valences opposées correspondant à la 6e facette : d'un côté la définition précise des conditions d'utilisation, de l'autre laisser ouvertes les possibilités d'utilisation. À l'instar de [Marfisi-Schottman & George, 2012 ; Marfisi-Schottman, 2012] qui

utilisent une grille d'évaluation des jeux sérieux fondée sur les 6 facettes de la conception des jeux sérieux, nous avons l'intention de construire des questionnaires, afin de mesurer ces valences pour les 6 facettes. La mesure des valences pour chacune des facettes nous permet d'établir un type pour le jeu sérieux mesuré (voir les exemples de stéréotypes présentés sur la Figure 18).



**Figure 18 :** Exemples de stéréotypes de produits déterminés grâce aux valences liées à chacune des 6 facettes de la conception des jeux sérieux.

La mesure que je propose est donc de déterminer dès que possible dans la phase de conception le type du jeu sérieux désiré grâce à ses valences, puis de mesurer en fin de conception ou après la réalisation le type final du jeu sérieux et de les comparer. En comparant les différences de types et de valences initiaux et finaux entre les jeux sérieux conçus avec et sans les patrons de conception, nous aurons une autre mesure quantitative de leur efficacité : l'efficacité à aider les concepteurs à rester fidèles au type de jeu sérieux qu'ils voulaient concevoir.

---

## ***VI. Conclusion sur les outils pour la conception participative dans les jeux sérieux***

---

Dans le but de faciliter l'instauration d'une conception participative, c'est-à-dire d'aider les différentes catégories d'experts à travailler ensemble au cours de la conception des jeux sérieux pour réaliser un bon métissage entre ludique et pédagogique, mais aussi dans le but de mieux intégrer les experts pédagogiques dans ces phases de conception, nous avons proposé des objets-frontières sous forme d'outils méthodologiques : les 6 facettes de la conception des jeux sérieux et pour chacune d'elle des patrons de conception. Les 6 facettes renseignent les concepteurs sur les différents aspects du jeu sérieux et sur ses problématiques générales et les solutions communes, tandis que les patrons de conception précisent ces problématiques, en exemplifiant les bonnes pratiques afin de proposer un vocabulaire commun que les différents types d'interlocuteurs (experts ou non) puissent utiliser.

Grâce au travail de terrain avec ces outils, nous avons pu montrer que les patrons de conception permettent d'atteindre en partie l'objectif : « *Comment aider les experts pédagogiques à comprendre les buts et les méthodes des experts ludiques ? Et vice versa* ». Notamment, les patrons de conception ont été utiles aux experts pédagogiques, pour leur permettre de comprendre les enjeux, les méthodes et le vocabulaire du domaine de la conception des jeux vidéo (voir les exemples donnés dans la section V.1 p.54)

Les patrons de conception, utilisés dans un contexte de travail collaboratif, ont aussi permis d'atteindre l'objectif : « *Comment permettre aux différents experts de parler le même langage afin de permettre de collaborer de manière efficace ?* » Notamment, en permettant aux différents interlocuteurs de trouver un vocabulaire commun pour travailler sur des thématiques transversales comme la mise en place de la simulation du domaine ou de la progression pédagogique et ludique dans le jeu sérieux (voir les exemples donnés dans la section V.2 p.56).

Toutefois, ces tests d'utilisation ont aussi montré que notre bibliothèque péchait encore par son manque de patrons de conception centrés sur les aspects pédagogiques, comme cela nous a été demandé par les experts ludiques (voir section V.1 p.54). Pour améliorer plus rapidement notre bibliothèque, je l'ai placée en ligne sur un site web collaboratif dans lequel les visiteurs peuvent noter les patrons de conception, les commenter, et pour ceux qui veulent s'investir plus grandement, proposer des traductions, des modifications, voire de nouveaux patrons de conception. L'équipe MOCAH et moi-même avons mené un intense travail de dissémination scientifique sur cette bibliothèque afin d'en augmenter la notoriété et de construire une communauté autour d'elle [Marne et al., 2011 ; Capdevila Ibáñez et al., 2011 ; Marne et al., 2012a ; Marne et al., 2012b ; Marne & Labat, 2012].

Les travaux d'évaluation continuent, d'une part en enregistrant les traces des visiteurs de la bibliothèque dans le but d'en mesurer le succès. D'autre part, en mettant au point une typologie dont le but est de mesurer l'écart entre les spécifications et le produit fini d'un jeu sérieux conçu avec les facettes et les patrons de conception.

# 3

## Chapitre 3. Modèle formel pour la description des jeux sérieux à étapes

Les recherches abordées dans ce chapitre ont fait l'objet de plusieurs publications :

- Marne B., Labat J.-M. « Implémentation de patrons de conception pour l'adaptation des parcours pédagogiques dans les jeux sérieux ». In : *Actes du 8ème Colloque Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement. TICE 2012*. Lyon, France, 2012. p. 69-79. (taux d'acceptation : 32 %)
- Marne B., Carron T., Labat J.-M. « Modélisation des parcours pédaogo-ludiques pour l'adaptation des jeux sérieux ». In : *Actes de la Conférence EIAH 2013. 6e Conférence sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*. Toulouse, France : IRIT Press 2013, 2013. p. 55-66. (taux d'acceptation : 39 %)
- Marne B., Carron T., Labat J.-M., Marfisi-Schottman Iza « MoPPLiq: A Model for Pedagogical Adaptation of Serious Game Scenarios ». In : *2013 IEEE 13th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT). 2013 IEEE 13th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*. Beijing, China : IEEE Computer Society, 2013. p. 291-293. (papier-court, taux d'acceptation : 42 %)
- Marne B., Labat J.-M. « Model and Authoring Tool to Help Teachers Adapt Serious Games to their Educational Contexts ». *IJLT*. 2014. Vol. 9 (to appear), Special Issue on Game-Based Learning. (taux d'acceptation : 26 %)

# Sommaire du chapitre

<b>Chapitre 3. Modèle formel pour la description des jeux sérieux à étapes.....</b>	<b>63</b>
I. Des besoins d'adaptation pédagogique des jeux sérieux.....	66
II. État de l'art : des fondations pour un modèle de scénarisation pédago-ludique destiné à l'adaptation.....	69
II.1. Décomposition du scénario orientée par les buts à faire atteindre.....	69
II.2. Couplage entre la hiérarchie des objectifs et celle des composants.....	71
II.3. Adaptation dynamique des composants à l'apprenant-joueur.....	72
II.4. Trois caractéristiques principales pour fonder un modèle de scénarios adaptables.....	73
III. MoPPLiq : Un modèle de scénarisation pédago-ludique.....	74
III.1. Des activités discrètes caractérisées par des objectifs.....	74
III.2. Des parcours non linéaires prenant en compte les actions de l'apprenant-joueur.....	78
III.3. Des activités qui s'adaptent en fonction du modèle de l'apprenant-joueur.....	81
III.4. MoPPLiq : un modèle formel et opérationnalisable.....	84
III.4.1. Modèle et méta-modèle en XML pour permettre la lecture et la validation des fichiers MoPPLiq.....	84
III.4.2. Modèle entité-association de MoPPLiq.....	86
III.5. Synthèse sur le modèle MoPPLiq.....	87
IV. Mise à l'épreuve de MoPPLiq.....	88
IV.1. Modélisations de nombreux jeux sérieux.....	88
IV.1.1. Méthodologie de modélisation avec MoPPLiq.....	88
IV.1.2. Protocole de l'évaluation.....	89
IV.1.3. Résultats de l'évaluation et discussion.....	89
a) Résultats.....	89
b) Parcours linéaires.....	90
c) Parcours non linéaires.....	90
d) Problématique des éléments continus (non discrets).....	91
e) Problématique des quantités continues (non discrètes).....	91
f) Activités adaptables.....	92
g) Bilan.....	92
IV.2. Transformation de modèles.....	92
IV.2.1. Transformation depuis le modèle de Legadee.....	93
IV.2.2. Transformation de modèle depuis eAdventure.....	94
IV.2.3. Bilan.....	95
IV.3. Conclusion sur l'évaluation de MoPPLiq.....	96
V. Conclusion sur le modèle MoPPLiq.....	97

Le chapitre précédent présente une des approches que j'ai choisie pour étudier la conception multi-expertise des jeux sérieux. Cette approche par la conception participative propose un modèle conceptuel et des patrons de conception facilitant la prise en compte des enseignants et des formateurs dans les étapes de conception des jeux sérieux. Ce chapitre et le suivant explorent un autre aspect de cette problématique de la conception multi-expertise en étudiant la conception dans l'usage par le biais d'une démarche de *meta-design*. Il s'agit donc de proposer des moyens d'appropriation des jeux sérieux aux enseignants et aux formateurs en leur permettant de les instrumenter et les instrumentaliser par le biais de modèles et d'outils auteurs.

Dans ce chapitre, c'est principalement la question de l'instrumentation qui est développée à travers la présentation du travail de recherche que j'ai effectué sur le modèle *MoPPLiq* qui décrit de façon formelle et graphique la scénarisation de certains jeux sérieux. Ce modèle permet aussi de manipuler cette scénarisation et sert ainsi de fondement pour l'outil auteur d'adaptation, nommé *APPLiq*, qui est présenté dans le chapitre suivant.

La première section de ce chapitre précise les objectifs de recherche qui ont guidé les travaux sur le modèle *MoPPLiq* en décrivant une étude menée auprès d'enseignants confirmant leur attente de moyens d'adaptation pédagogique des jeux sérieux. Puis, après avoir présenté dans la seconde section les travaux de recherche connexes sur lesquels ma contribution est fondée, la troisième section présente le modèle générique de parcours pédago-ludiques pour les jeux sérieux à étapes nommé *MoPPLiq* et son méta-modèle. Deux types d'évaluation de cette contribution sont proposés dans la quatrième section, avec d'une part, une évaluation de *MoPPLiq* par la modélisation d'une vingtaine de jeux sérieux, d'autre part une évaluation par transformation de modèles depuis ceux d'outils auteurs de jeux sérieux. La dernière section de ce chapitre présente les conclusions et les perspectives à propos de *MoPPLiq*.

---

## ***I. Des besoins d'adaptation pédagogique des jeux sérieux***

---

Cette section présente une étude que j'ai menée avec l'équipe MOCAH et qui a mis en évidence que l'adaptation des jeux sérieux et leur appropriation étaient une attente forte des enseignants. L'étude s'est déroulée en deux temps. Le premier temps a pris place au cours d'une rencontre organisée avec une dizaine d'enseignants de SPFCA dans le cadre du projet *Donjons & Radons* (voir la section V.2 du Chapitre 2. p.56). Nous avons demandé à des enseignants de SPCFA de construire des modèles de l'enseignement de la physique des changements d'état de l'eau<sup>19</sup>. Ce travail de construction s'est fait en passant par plusieurs modalités successives : *brainstorming*, travail de groupe, puis mise en commun. C'est lors de cette dernière que nous avons constaté que, malgré la validation de ces modèles par leur IA-IPR, ils étaient tous différents, y compris assez fondamentalement sur leurs approches pédagogiques. Les plus grosses différences portaient sur l'ordonnancement des compétences visées et sur le choix des travaux pour les acquérir (types d'exercices, méthode pédagogique, etc.). La discussion plénière entre ces enseignants concepteurs a mis en évidence que certains désaccords sur ces stratégies pédagogiques ne pouvaient pas être réduits, alors que tous les modèles reposaient sur les mêmes objectifs pédagogiques (ceux des programmes scolaires). En effet, ces enseignants ont des méthodes, des pratiques, des environnements (matériels, équipes avec lesquelles il faut travailler, etc.) différents ce qui les conduit à des choix pédagogiques éventuellement très variés.

Lors de cette même rencontre, nous leur avons aussi présenté un prototype du *game design* de *Donjons & Radon*, en les questionnant sur d'éventuelles améliorations. La première demande d'amélioration et la plus récurrente était de pouvoir changer l'ordre des niveaux pour les organiser selon des besoins pédagogiques divergents.

En conclusion, cette première étude exploratoire confirme d'une part que le meilleur scénario pour *Donjons & Radon*, c'est-à-dire qui répond aux besoins

---

19 Voir l'exemple Figure 9 p.33, ainsi que les détails dans la section V.2 du Chapitre 2. p. 56.

de tous les enseignants, n'existe pas, d'autre part cela confirme qu'il est nécessaire de construire des outils d'adaptation pour que les enseignants puissent adapter les scénarios à leurs besoins.

Pour étendre cette première exploration du besoin d'adaptation de la scénarisation pédagogique, mais aussi parce que les enseignants ayant participé à la première étape étaient des experts TICE, j'ai voulu, dans une seconde étape, interroger un panel plus large d'enseignants. Pour cela, j'ai d'une part mené des entretiens informels, et d'autre part soumis des questionnaires à des enseignants qui s'étaient portés volontaires pour tester des jeux sérieux aux mêmes particularités que le projet *Donjons & Radon* : décomposé en niveaux, et reposant sur une métaphore intrinsèque. Ainsi, j'ai interrogé des enseignants de mathématiques sur l'adoption du jeu sérieux *Refraction*<sup>20</sup>, et des enseignants de sciences de la vie et de la Terre sur l'adoption des jeux sérieux *CellCraft*<sup>21</sup> et *Défenses Immunitaires* (voir sa description dans la section IV.1.1 p.127). Certaines des questions posées étaient du type : « *Quels sont les principaux défauts de ce jeu sérieux ?* » et « *Que pouvons-nous faire pour améliorer ce jeu sérieux ?* ». Dans les réponses à ces questions, les enseignants ont surtout critiqué les niveaux (leur nombre, leur ordre, etc.). Quand ils ont proposé des modifications, il s'agissait de modifier l'ordre dans lequel les niveaux étaient joués. Par exemple, « *Il devrait y avoir un menu pour choisir quel niveau jouer* » (*CellCraft*), « *Seulement les mondes 3, 5 et 7 sont utiles pour mes élèves* », « *Certains niveaux sont trop durs, on devrait pouvoir les passer* » (*Refraction*).

La conclusion de cette deuxième phase de l'étude rejoint la première : il est très difficile de fournir une scénarisation pédagogique qui convienne à tous les enseignants, dans leur diversité et dans la diversité de leurs situations pédagogiques. La demande d'adaptation des scénarios est fréquente et va dans le sens des travaux sur le *meta-design* qui préconisent de prévoir, tôt dans la conception, les moyens pour que les utilisateurs puissent remanier les outils qui leur sont proposés, notamment à des fins d'adaptation à leurs besoins, mais aussi d'appropriation de l'outil [Fischer et al., 2004]. Il s'agit par ailleurs d'une demande récurrente en formation professionnelle de la part des tuteurs, c'est pourquoi cette fonctionnalité d'adaptation post-production de la scénarisation au contexte est l'un des lots du projet FUI<sup>22</sup> « *Play Serious* ». L'équipe MOCAH et le travail présenté dans cette thèse est donc en partie intégré de ce projet.

Les résultats de ces études m'ont conduit à préciser des objectifs de recherche. L'objectif principal des travaux présentés dans les prochaines sections est de concevoir l'outil auteur qui permet aux enseignants et aux tuteurs de s'approprier et de manipuler les parcours pédago-ludiques. En adoptant une démarche proche de l'ingénierie dirigée par les modèles [Favre et al., 2006], j'ai décomposé cet objectif en trois sous-objectifs. Il s'agit en premier lieu de concevoir un modèle et son méta-modèle capables de représenter de façon intelligible un scénario pédago-ludique de jeu sérieux,

20 <http://games.cs.washington.edu/refraction/>

21 <http://www.cellcraftgame.com/Home.html>

22 FUI signifie Fonds unique interministériel, qui est un programme gouvernemental destiné à soutenir la recherche appliquée.

dont la planification pourra être modifiée pour être adaptée. Ce sous-objectif est traité dans les prochaines sections du présent chapitre. Dans le chapitre suivant (Chapitre 4. p.99) sont traités les deux autres sous-objectifs : d'une part, la conception de l'implémentation logicielle de ce modèle en un outil auteur permettant aux enseignants d'adapter les jeux sérieux à leurs besoins, et d'autre part, la conception d'un système de vérification des instances des modèles de scénarios pédaogo-ludiques de jeux sérieux adaptés par les enseignants et de compensation automatisée des éventuelles incohérences détectées.

Avant de présenter le modèle MoPPLiq qui résulte de ces travaux dans les sections suivantes, je présente un état de l'art des travaux de recherche qui en sont leurs fondations.

---

## ***II. État de l'art : des fondations pour un modèle de scénarisation pédagogique destiné à l'adaptation***

---

Dans la perspective de proposer une modélisation et des outils permettant de représenter et de manipuler la scénarisation pédagogique des jeux sérieux, j'ai fait une revue d'une large sélection de travaux scientifiques sur les outils auteurs et sur leurs modèles sous-jacents. Je me suis d'abord concentré sur les modélisations de la scénarisation des jeux sérieux, mais comme le domaine reste assez récent, j'ai élargi cette étude aux domaines connexes des EIAH et des jeux vidéo. L'étude des travaux sur la modélisation et les outils auteurs de ces trois domaines permet de mettre en évidence les trois fonctionnalités principales sur lesquelles est fondé le modèle de scénarisation des jeux sérieux visant l'adaptation que je propose dans les sous-sections qui suivent.

### **II.1. Décomposition du scénario orientée par les buts à faire atteindre**

---

La première des fonctionnalités, qui est également présente dans les trois domaines d'étude, est le fait de scinder les scénarios en composants, qui sont eux-mêmes définis par des buts (ou objectifs) à faire atteindre à l'apprenant ou le joueur. Cet aspect se retrouve dans la plupart des EML<sup>23</sup> et notamment dans IMS-LD [Koper & Olivier, 2004 ; Lejeune, 2004]. Par exemple, *LAMS* [Dalziel, 2008] est un outil auteur de scénarisation pédagogique destiné aux enseignants dans lequel le modèle est revendiqué comme une simplification d'*IMS-LD*. Les scénarios y sont construits sous la forme de séquences de composants définis par leurs objectifs pédagogiques pour l'apprenant.

---

23 EML pour Educational Markup Language.

D'autres approches se fondent sur d'autres types d'objectifs pour caractériser les composants et décomposer la scénarisation. Du côté des EIAH, *Scenedit* [Emin et al., 2011] est un outil auteur qui assiste les enseignants dans la formalisation de scénarios pédagogiques. Son modèle (nommé *ISiS*) propose un découpage en composants qui sont caractérisés par les intentions des enseignants utilisateurs. La même méthode de découpage de la scénarisation en composants définis par les intentions a aussi été utilisée dans le domaine des jeux sérieux, par exemple par l'outil auteur *ScenLRPG* [Mariais, 2012]. Il s'agit d'un outil auteur pour la scénarisation des jeux de rôle destinés à la formation (*Learning Role Playing Games*, LRP) qui est fondé sur un modèle dont les composants sont à la fois définis par les intentions des enseignants, mais aussi par les interactions et par les objectifs pédagogiques pour les apprenants-joueurs. *Legadee* [Marfisi-Schottman, 2012] est un outil auteur de « *learning games* » (présenté dans la section II du Chapitre 2. p.23) qui repose sur un modèle inspiré, lui aussi, de IMS-LD, avec un scénario fragmenté en composants filant une métaphore cinématographique : le scénario est divisé en scènes, placées dans un lieu, avec son décor, qui ont des acteurs, et des objets. Le modèle de *Legadee* implique que ces scènes soient reliées à des objectifs pédagogiques (compétences qui y sont travaillées par les apprenants-joueurs). *WEEV* [Marchiori, 2010] est un autre outil auteur de scénarios de jeux sérieux, avant de les implémenter sous forme d'exécutable dans un autre outil auteur : *eAdventure* [Burgos et al., 2008] où l'on retrouve un découpage des scénarios en composants. Dans *WEEV* et *eAdventure*, les composants sont plutôt caractérisés par un lieu géographique, et ces lieux comportent en général un but particulier à atteindre.

Du côté des jeux vidéo, le scénario est généralement découpé en niveaux (en anglais : *levels* ou *stages*), qui sont la plupart du temps caractérisés par la nature des défis qu'ils proposent au joueur [Aponte et al., 2011 ; Levieux, 2011]. [Björk & Holopainen, 2005] proposent un patron de conception nommé « *Levels* » qui synthétise les concepts autour de l'idée du découpage des scénarios en composants :

« *A Level is a part of the game in which all player actions take place until a certain goal has been reached or an end condition has been fulfilled* ».

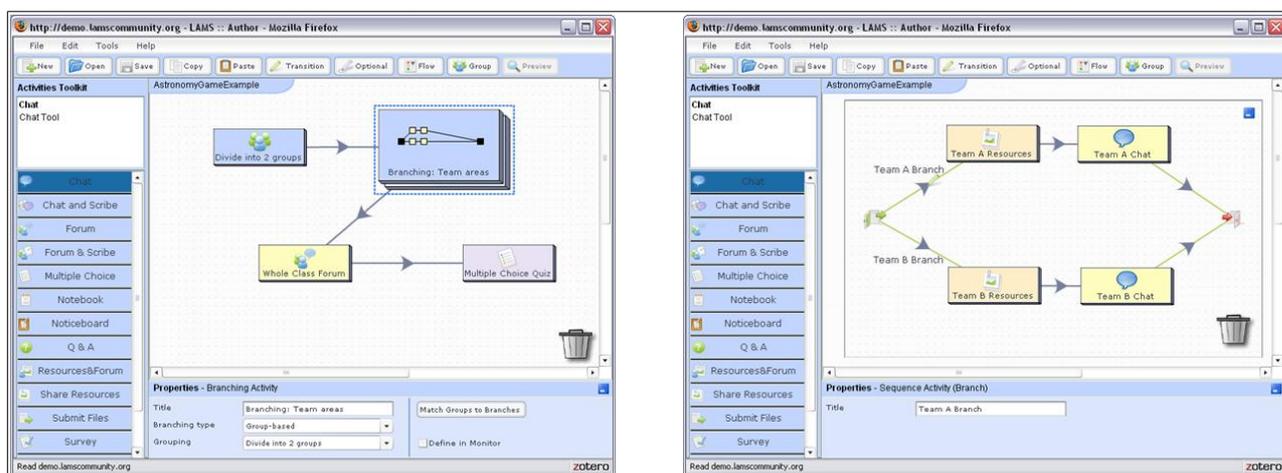
Les auteurs préconisent comme [Marfisi-Schottman, 2012 ; Marchiori, 2010] d'associer la notion d'objectifs à une unité de lieu et de décorum (voir aussi la facette *Décorum* p.38).

Pour construire un modèle intelligible pour des enseignants et suffisamment générique pour représenter les scénarios de jeux sérieux, j'ai choisi de m'inspirer de ces recherches sur la scénarisation des jeux sérieux et de fonder mon modèle sur certains aspects de IMS-LD (domaine des EIAH) métissés par le patron de conception « *Levels* » (domaine des jeux vidéo). En revanche, ce choix implique de limiter les jeux sérieux modélisables à ceux dont le scénario est décomposable. Nous verrons lors de la mise à l'épreuve de ce modèle l'impact de ce choix sur sa généricité.

## II.2. Couplage entre la hiérarchie des objectifs et celle des composants

Dans les scénarios d'EIAH, de jeux et de jeux sérieux, l'organisation des composants (par exemple des niveaux) est souvent liée à la structure hiérarchique des buts qui peuvent être atteints.

Par exemple, les outils auteurs comme *ScenLRPG* [Mariais, 2012] pour les jeux sérieux, ou *LAMS* [Dalziel, 2008] et *Collage* [Hernández-Leo et al., 2006] pour les EIAH, fondent leurs modèles sur une structure hiérarchique de composants. Ces modèles ont des composants qui paraissent enchaînés de façon linéaire, mais en fait, ces composants peuvent être gigognes, c'est-à-dire qu'un composant peut à son tour contenir une séquence de composants. Donc, la structure du scénario n'est pas linéaire, mais arborescente. Dans *LAMS*, ces composants gigognes sont utilisés pour faire des branchements conditionnels [Dalziel, 2008] et sont fondés sur la hiérarchie des objectifs pédagogiques (Figure 19).



**Figure 19 :** Captures d'écrans de la version 2.1 de LAMS tirée de [Dalziel, 2008] montrant des activités gigognes. La capture d'écran de droite montre le branchement contenu dans l'une des activités présentées sur la capture de gauche.

D'autres systèmes permettent l'inclusion de séquences dans un composant. Par exemple, les EIAH *AHA!* [Bra & Calvi, 1998] ou *ScenEdit* [Emin et al., 2011], les outils auteurs de jeux sérieux *WEEV* [Marchiori, 2010] ou *Storytec* [Göbel et al., 2008], et dans le domaine des jeux vidéo [Kearney & Pivec, 2007 ; Aponte et al., 2011 ; Levieux, 2011].

Un autre bon exemple de composants gigognes et de scénarios arborescents fondés sur une hiérarchie d'objectifs est le modèle de l'outil auteur *Legadee* [Marfisi-Schottman, 2012]. Comme nous le précisons dans la sous-section précédente, ce modèle file une métaphore cinématographique utilisée pour décrire la hiérarchie des composants ludiques : écrans (correspondant aux plans), les séquences et les chapitres (voir aussi la Figure 32 p.93).

Il existe, pour le domaine des jeux vidéo, un patron de conception qui décrit cette relation entre la hiérarchie des niveaux et celle des buts à faire

atteindre au joueur. Il s'agit du patron de conception « *Hierarchy of Goals* » de [Björk & Holopainen, 2005]. En nous inspirant de ce patron de conception et en intégrant nos travaux sur l'état de l'art et les exemples que nous avons trouvés, nous avons conçu un patron dérivé de « *Hierarchy of Goals* » qui porte sur les jeux sérieux : « *Objectifs hiérarchisés et pédagogiques (GD)* »<sup>24</sup> qui traite du problème suivant :

« *Comment faire pour que le scénario enchaîne les objectifs pédagogiques de façon cohérente tout en restant ludique et tienne compte des performances et des choix des joueurs ?* »

L'idée est de proposer d'abord de construire une hiérarchie des objectifs pédagogiques (cognitifs ou de compétences, c'est-à-dire connaissances, capacités, attitudes), à partir de laquelle il est possible de construire des emboitements et des enchaînements à même de matérialiser les niveaux et leurs branchements.

Ce patron de conception est utilisé pour structurer la scénarisation des composants du modèle de scénarisation pour les jeux sérieux décrit dans ce chapitre.

### II.3. Adaptation dynamique des composants à l'apprenant-joueur

---

En se plaçant dans la perspective de l'adaptation des scénarios des jeux sérieux, un dernier aspect des différents travaux dans ces trois domaines étudiés peut être souligné. Il s'agit de la prise en compte de l'adaptation des composants du scénario à l'apprenant ou au joueur. Dans certains outils auteurs d'EIAH, la question de l'adaptation des scénarios au modèle de l'apprenant est envisagée de la façon la plus simple, en montrant et en cachant des composants, ou de façon plus élaborée en détaillant, résumant ou illustrant des éléments [Murray, 2003]. L'implémentation peut être plus complexe quand l'EIAH est capable de moduler le composant lui-même. C'est le cas de certains hypermédias adaptatifs [Brusilovsky, 1996 ; Bra & Calvi, 1998] qui proposent dans chaque page (c'est-à-dire composant) d'afficher ou de masquer des liens hypertextes en fonction du modèle de l'apprenant. Cependant, une adaptation au modèle de l'apprenant au niveau du composant dans les EIAH reste rare. Elle est beaucoup plus présente dans le domaine des jeux vidéo [Levieux, 2011], et il est donc nécessaire d'en tenir compte pour modéliser un jeu sérieux. Par exemple, [Björk & Holopainen, 2005] proposent deux patrons de conception de jeu vidéo qui synthétisent cela : « *Supporting Goals* » et « *Optional Goals* ». Ces patrons proposent, par le biais des objectifs (*Goals*), de traiter cette question de l'adaptativité : c'est en proposant des objectifs secondaires, souvent optionnels, que l'on peut aider les joueurs en difficulté, ou au contraire, pimenter les défis des joueurs les plus aguerris.

Par conséquent, les patrons de conception qui décrivent cette adaptation dynamique utilisée dans les jeux vidéo sont un bon fondement pour un modèle de la scénarisation des jeux sérieux.

---

24 Détaillé dans la section IV.4.4 du Chapitre 2., p.50.

## II.4. Trois caractéristiques principales pour fonder un modèle de scénarios adaptables

---

Cette revue de l'état de l'art m'a permis de choisir une approche ascendante (*bottom-up*) pour construire un modèle de scénarisation des jeux sérieux qui soit adaptable. Ce modèle repose sur l'expérience de l'équipe MOCAH dans le domaine de la conception des jeux sérieux et sur celle de ses partenaires industriels dans ce domaine. De plus, en adoptant la démarche d'ingénierie du modèle de l'outil auteur *Collage* qui est fondé sur des patrons de conception [Hernández-Leo et al., 2006], le modèle que je propose dans les sections qui suivent adopte les trois caractéristiques de la scénarisation que nous avons relevées dans l'état de l'art à propos des EIAH, jeux vidéo et jeux sérieux et qui s'illustrent par des patrons de conception : le découpage des scénarios en composants définis par leurs objectifs (patron de conception « *Levels* »), la modélisation de scénarios arborescents pour anticiper les conséquences des actions des apprenants-joueurs (patron de conception « *Objectifs hiérarchisés et pédagogiques (GD)* ») et la capacité à décrire l'adaptation possible des composants du scénario au modèle de l'apprenant-joueur (patrons de conception « *Supporting Goals* » et « *Optional Goals* »).

Dans la section qui suit, je présente le modèle *MoPPLiq* qui permet aux enseignants la montée en compétence et l'autonomie pour adapter des scénarios de jeux sérieux. Ce modèle est présenté en abordant successivement les trois caractéristiques évoquées dans cet état de l'art, avant que la présentation de l'évaluation de son expressivité.

---

## ***III. MoPPLiq : Un modèle de scénarisation pédago-ludique***

---

L'objectif du modèle présenté dans cette section est de proposer un moyen de décrire un scénario de jeu sérieux de façon à ce qu'il soit facilement compréhensible par des enseignants, adapté à la modification de la scénarisation en fonction de leurs besoins, et enfin qu'il soit possible de l'implémenter dans un outil auteur d'adaptation. Le but est donc de répondre à l'objectif de recherche présenté dans la section I p.66, et plus particulièrement au sous-objectif : « *Concevoir un modèle et son méta-modèle capables de représenter de façon intelligible un scénario pédago-ludique de jeu sérieux, dont la planification pourra être modifiée pour être adaptée* ».

Ce modèle s'appelle « *MoPPLiq* » pour **Modélisation des Parcours Pédago-Ludiques**.

Le modèle *MoPPLiq* est fondé sur trois caractéristiques issues de l'état de l'art des domaines des EIAH, des jeux vidéo et des jeux sérieux permettant de découper les scénarios en composants discrets. Cette section présente successivement ces trois caractéristiques dans le modèle *MoPPLiq*.

### **III.1. Des activités discrètes caractérisées par des objectifs**

---

Dans la section II.1 p.69 nous avons vu que les modèles utilisés dans les trois domaines des EIAH, des jeux vidéo et des jeux sérieux utilisent un découpage des scénarios en composants définis par des objectifs. Le patron de conception pour les jeux vidéo « *Levels* » [Björk & Holopainen, 2005] synthétise cette notion de discontinuité dans l'action du joueur sous forme de niveaux avec un ou des objectifs à atteindre et dont la réussite permet de mesurer la performance [Levieux, 2011]. J'ai implémenté ce patron de conception dans le modèle *MoPPLiq*, de façon à tenir compte des particularités éducatives des jeux sérieux.

Pour cette implémentation, deux types de scénarisation des jeux sérieux sont à considérer : le premier type concerne les jeux sérieux pour lesquels la scénarisation est décrite par une succession de « niveaux » aux *gameplays* identiques (comme *Refraction*). Pour décrire leur scénario, il est suffisant de faire un modèle général des niveaux en s'appuyant sur le *gameplay*, puis de décrire les différences entre les paramétrages de chacun d'eux. Mais, cette méthode de description de la scénarisation ne convient pas pour le second type de jeux sérieux, qui sont composés de « niveaux » aux *gameplays* différents (comme les mini-jeux de *Mécagénius*<sup>25</sup>, ou les quêtes de *Science en jeu*<sup>26</sup>). Dans leur cas, il faudrait décrire les différents *gameplays* de chacun des niveaux. Or, dans l'optique de l'adaptation de la scénarisation, il n'est pas utile de le faire, ce qu'il faut décrire c'est l'influence des choix de l'apprenant-joueur dans un niveau donné sur la totalité du scénario qui lui est proposé.

Ainsi, dans *MoPPLiq*, les différents « niveaux » (qui peuvent aussi être des exercices, des quêtes, des études de cas, etc.) des jeux sérieux sont des boîtes noires, que nous appelons « **activités** » dont nous ne cherchons pas à décrire le contenu. Les activités sont caractérisées par des **buts pédagogiques** et **ludiques** que l'apprenant-joueur peut atteindre et qui devront être caractérisés et indexés. Par exemple, le niveau 6.2 de *Refraction* permet de travailler les objectifs pédagogiques suivants : « *Comprendre qu'une fraction est une proportion* », « *Additionner des fractions de différents dénominateurs* », etc. Afin de les rendre opérationnalisables, les scénarios décrits avec *MoPPLiq* le sont au format XML. La Figure 20, ci-dessous, est un extrait de la description du niveau 6.2 de *Refraction* fondée sur le méta-modèle (schéma XML) de *MoPPLiq* (voir aussi la Figure 21).

---

25 <http://mecagenius.univ-jfc.fr/>

26 Voir la description de *Science en jeu* p.52.

```

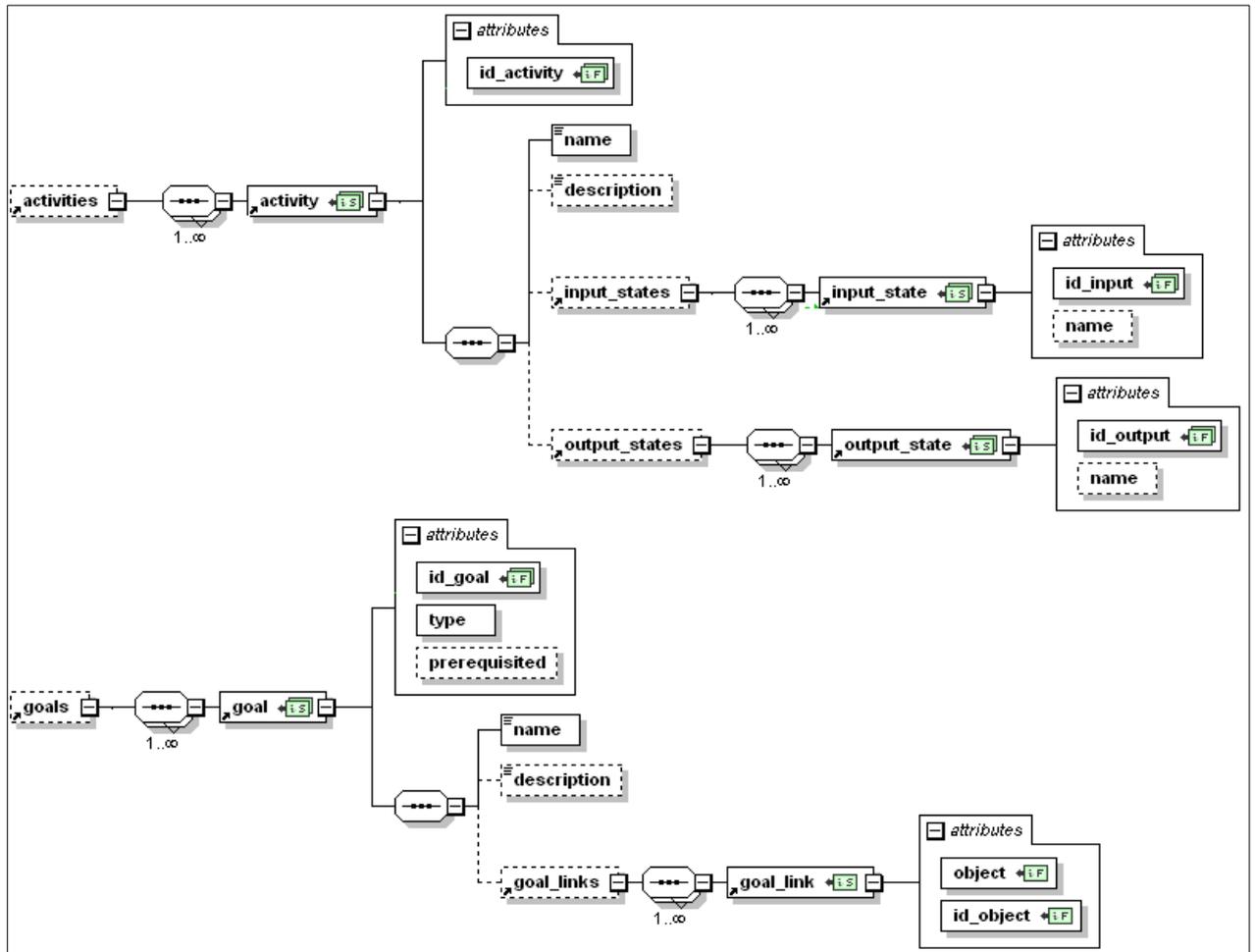
<activity id_activity="11">
  <name>Niveau 6.2</name>
  <description>Tutoriel pour comprendre que l'on peut additionner deux lasers de
  même dénominateur.</description>
  [...]
  <input_state id_input="9" />
  [...]
  <output_state id_output="13"/>
  [...]
</activity>
<goals>
  <goal id_goal="7" type="ludo">
    <name>On peut tordre le rayon en utilisant le laser bender</name>
    <goal_links>
      <goal_link object="output_state" id_object="13" />
    [...]
  </goal_links >
</goal>
  [...]
  <goal id_goal="24" type="edu">
    <name>Comprendre qu'une fraction est une proportion</name>
    <goal_links>
      <goal_link object="output_state" id_object="13" />
    </goal_links >
  </goal>
  [...]
  <goal id_goal="38" type="edu">
    <name>Additionner des fractions de différents dénominateurs</name>
    <goal_links>
      <goal_link object="output_state" id_object="13" />
    </goal_links >
  </goal>
  [...]
</goals>

```

**Figure 20 :** Extrait du XML décrivant le niveau 6.2 de Refraction

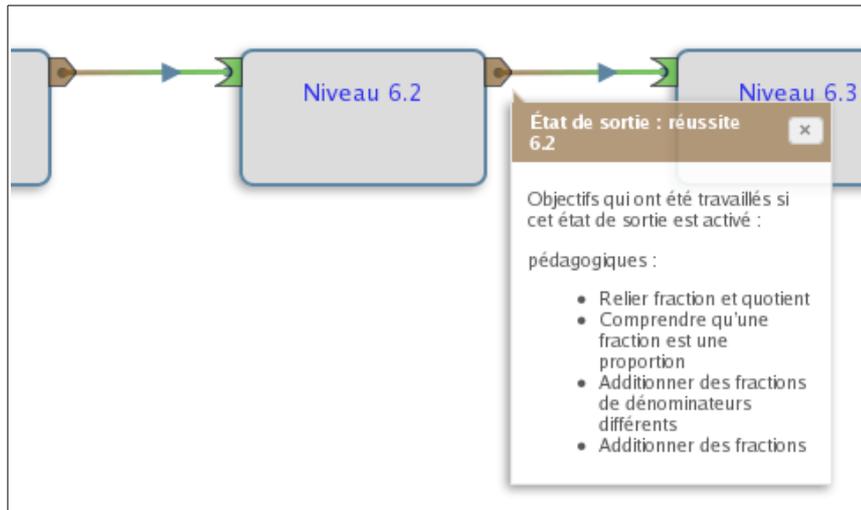
Dans *MoPPLiq*, c'est l'élément `<activity>` qui est utilisé pour décrire l'activité elle-même. Avec les éléments `<goals>` qui référencent les « sorties » (`<output_state>`) de l'activité, sont décrits plusieurs de ses objectifs (les buts ou objectifs pédagogiques ont un attribut `type` prenant la valeur « `edu` », alors que les buts ou objectifs ludiques ont un attribut `type` prenant la valeur « `ludo` »). La sous-section suivante détaille que les éléments `<goal>` peuvent aussi être utilisés pour référencer des `<input_state>` (c'est-à-dire des « commencements » de l'activité). Dans ce cas, nous les utilisons pour définir les objectifs prérequis qui sont nécessaires pour débiter l'activité. Les éléments `<goal>` permettent simplement de définir les objectifs qui peuvent être atteints durant la partie d'un apprenant-joueur, mais ne sont pas destinés à décrire des objectifs externes comme des compétences acquises en dehors du jeu sérieux lui-même ou des informations concernant d'autres joueurs.

La Figure 21 est un diagramme du méta-modèle de *MoPPLiq* qui généralise l'exemple décrit dans la Figure 20.



**Figure 21 :** Diagramme d'un extrait du schéma XML de MoPPLiq montrant le méta-modèle des activités avec leurs états d'entrée et de sortie et de leurs liens avec les objectifs.

Les scénarios linéaires comme celui de *Refraction* sont donc construits en connectant les activités grâce à leurs « états d'entrée » et « états de sortie ». La Figure 22 est la représentation graphique, destinée aux enseignants du niveau 6.2 de *Refraction* et de ses connexions aux niveaux précédents et suivants.



**Figure 22 :** Représentation graphique du modèle MoPPLiq du niveau 6.2 du jeu sérieux Refraction. Le niveau est représenté par une activité (boîte grise) caractérisée par des objectifs pédagogiques (signifiés dans la bulle d'information). En reliant par des flèches les états de sortie (pointes brunes) aux états d'entrée (chevrons verts), on obtient un parcours pédaogo-ludique.

### III.2. Des parcours non linéaires prenant en compte les actions de l'apprenant-joueur

Dans la revue des recherches sur les modèles de scénarisation (section II.2 p.71) nous avons vu que les découpages des scénarios des EIAH, des jeux vidéo et des jeux sérieux proposent souvent une hiérarchisation de leurs composants. Le patron de conception « *Objectifs hiérarchisés pédagogiques (GD)* » (détaillé p.50) précise qu'une structure hiérarchisée des objectifs pédagogiques et ludiques doit être modélisée dans l'enchaînement des composants. Il précise aussi que cette structure doit construire un parcours adapté aux choix et à la performance de l'apprenant-joueur. L'implémentation de ce patron de conception dans *MoPPLiq* s'est faite en utilisant plusieurs « **états de sortie** » pour prendre en compte les choix de l'apprenant-joueur quand ils ont une conséquence sur les branchements dans un scénario non linéaire, et ce en particulier, quand ces choix sont liés au fait d'acquérir des compétences.

Par exemple, dans le jeu sérieux *Les ECSPER*<sup>27</sup> (ce qui signifie « Études de Cas Scientifiques et Pratiques pour l'Expertise en Rupture »), les choix faits par les apprenants-joueurs dans chaque activité déterminent la prochaine activité. Dans l'une des activités du jeu sérieux, les apprenants-joueurs doivent faire des inférences pour déterminer si le mode de fracture d'une vis est fragile ou ductile. Si la réponse est fausse, l'activité suivante est une remédiation pour aider les apprenants-joueurs à comprendre leur erreur. Si la réponse est bonne, alors l'activité suivante poursuit l'exploration de la fracture, et le scénario

27 <http://campus-douai.gemtech.fr/course/view.php?id=934>

considère que l'apprenant-joueur a travaillé<sup>28</sup> l'un des objectifs pédagogiques : « *Reconnaître un mode de fracture ductile* ».

La Figure 23 est un extrait du fichier XML au format *MoPPLiq* décrivant cet exemple. L'activité « *Analyse du mode de fracture* » possède plusieurs éléments `<output_state>` qui correspondent aux choix des apprenants-joueurs, chaque choix étant relié à des activités différentes (les liens sont décrits par les éléments `<output_input_link>`). La mauvaise réponse (c'est-à-dire « *Fragile* ») mène à l'activité de remédiation, et la réponse correcte (c'est-à-dire « *Ductile* ») mène à la suite de l'analyse de la fracture, elle est par ailleurs reliée au sous-objectif pédagogique qui a été travaillé (`<goal_link object="output_state" id_object="34" />`). Ce sous-objectif pédagogique est aussi un prérequis pour l'activité suivante « *Examen de la surface de fracture* » (`<goal_link object="input_state" id_object="40" />`).

```

<activity id_activity="24">
  <name>Analyse du mode de fracture</name>
  [...]
  <output_states>
    <output_state id_output="34" name="Ductile" />
    <output_state id_output="35" name="Fragile" />
  </output_states>
</activity>
<activity id_activity="25">
  <name>Examen de la surface de fracture</name>
  [...]
  <input_state id_input="40" />
  [...]
</activity>
<activity id_activity="30">
  <name>Observation détaillée de la fracture</name>
  [...]
  <input_state id_input="32" />
  [...]
</activity>
<links>
  <output_input_link id_output="34" id_input="40" />
  <output_input_link id_output="35" id_input="32" />
</links>
<goals>
  <goal id_goal="23" type="edu">
    <name>Reconnaître un mode de fracture ductile</name>
    <goal_links>
      <goal_link object="output_state" id_object="34" />
      <goal_link object="input_state" id_object="40" />
    </goal_links>
  </goal>
</goals>

```

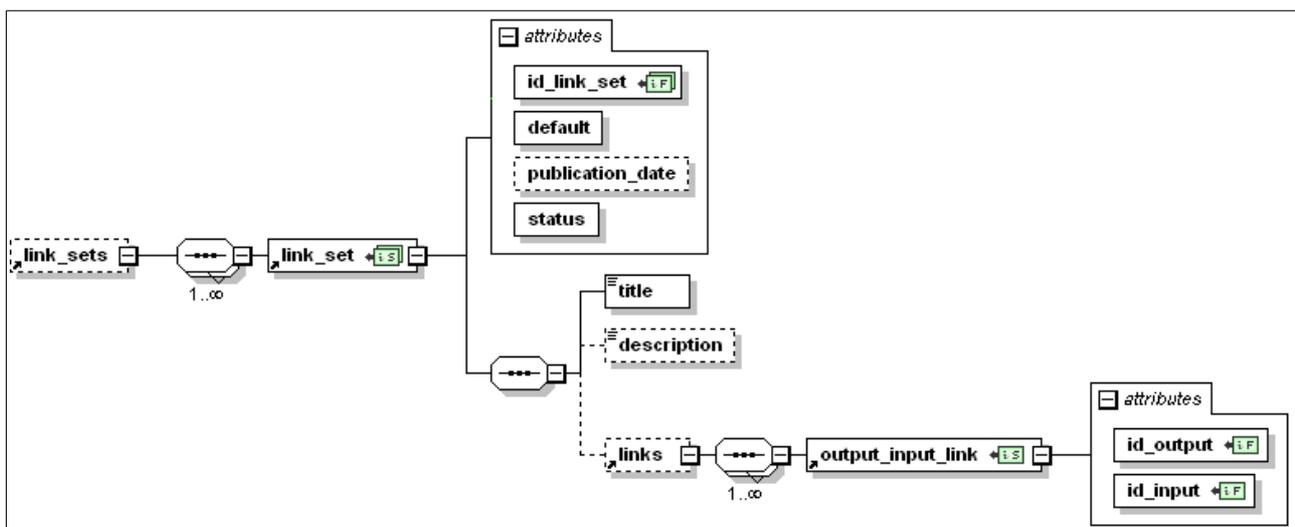
**Figure 23 :** Extrait du fichier XML décrivant le scénario non linéaire du jeu sérieux *Les ECSPER*

Contrairement au cas précédent (Figures 20 et 22 p.78), et dans le but de rester compréhensible, l'exemple présenté ici est simplifié en ne présentant qu'un

28 En l'absence de système sophistiqué de suivi de l'apprenant-joueur qui ne fait pas partie des objectifs des recherches présentées ici, il est impossible de savoir si un sous-objectif comme « *Reconnaître un mode de fracture ductile* » est vraiment atteint ou pas. C'est pourquoi, par prudence, c'est l'expression « *objectif travaillé* » qui sera utilisée ici plutôt qu'« *objectif atteint* ».

seul des sous-objectifs travaillés. Mais, il faut garder à l'esprit qu'un état de sortie ne représente pas le but de l'activité elle-même (et donc ne se réduit pas à un seul objectif). En réalité, l'état de sortie représente un choix de l'apprenant-joueur qui est caractérisé par un sous-ensemble d'objectifs (des « sous-objectifs ») de l'activité qui peuvent être travaillés si l'apprenant-joueur fait ce choix et qui influent sur la scénarisation. En effet, comme nous l'avons vu dans la section précédente (p.74), ces sous-objectifs sont conçus pour décrire seulement les actions de l'apprenant-joueur dans la partie, et leurs conséquences sur le scénario à venir. En revanche, ils ne sont pas adaptés pour décrire des états qui ne sont pas liés à l'apprenant-joueur lui-même. Par exemple, les objectifs qui caractérisent les états de sortie dans *MoPPLiq* ne peuvent pas décrire l'état d'autres joueurs, ou la disponibilité d'une ressource particulière. C'est une limitation qui a été introduite volontairement pour que la cohérence d'un modèle *MoPPLiq* d'un jeu sérieux donné, une fois implémenté dans un outil auteur d'adaptation des parcours pédagogique, puisse être vérifiée et confirmée<sup>29</sup>.

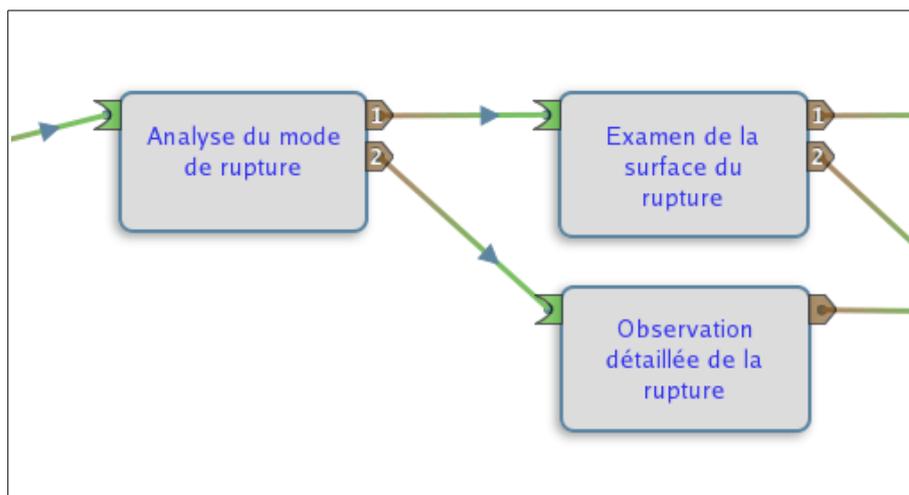
La Figure 24 complète le diagramme de la Figure 21 (p.77) avec la description du méta-modèle des *parcours*, c'est-à-dire de l'ensemble des liaisons entre les états de sortie et les états d'entrée. Un « parcours » se définit donc comme un modèle décrivant la planification du scénario d'un jeu sérieux.



**Figure 24 :** Diagramme d'un extrait du schéma XML de *MoPPLiq* montrant le méta-modèle des parcours (« *link\_set* ») : ensemble des transitions (« *output\_input\_link* ») entre états de sortie et états d'entrée.

Ainsi, en permettant aux activités d'avoir **plusieurs états de sortie**, *MoPPLiq* peut décrire les scénarios non linéaires capables d'adapter les parcours aux choix et aux performances de l'apprenant-joueur. La Figure 25 montre la représentation graphique destinée aux enseignants de l'extrait du modèle *MoPPLiq* présenté dans la Figure 23. Cette représentation graphique révèle la structure **arborescente** des scénarios dans lesquels les activités ont plusieurs états de sortie.

<sup>29</sup> Voir la description du système de contrôle de la cohérence dans la section I.4 du Chapitre 4. p.108.



**Figure 25 :** Une activité d'ECSPER (boîtes grises) peut mener à un choix. En fonction de celui-ci, l'état de sortie de l'activité diffère (pointes brunes). Ici, la première « sortie » (marquée 1) de l'activité d'Analyse du mode de rupture (à gauche) correspond au choix de l'étudiant d'un mode « fragile ». La seconde « sortie » (marquée 2) correspond au choix d'un mode de rupture « ductile ».

### III.3. Des activités qui s'adaptent en fonction du modèle de l'apprenant-joueur

Nous avons vu dans la section II.3 p.72 que dans les EIAH, dans les jeux vidéo, et parfois aussi dans les jeux sérieux, que les défis proposés à l'apprenant-joueur sont souvent modulés en fonction de son profil ou de ses actions antérieures, notamment en lui apportant une aide contextuelle (informations, outils, objets utiles, etc.). Pour intégrer ce principe, *MoPPLiq* implémente les patrons de conception « *Supporting Goals* » et « *Optional Goals* » : ces deux patrons proposent de disposer d'objectifs secondaires (par exemple : lire un document, suivre un tutoriel, faire un exercice d'introduction, finir une quête annexe, faire une recherche sur internet) dans certaines activités, pour aider le joueur à la réussir [Björk & Holopainen, 2005]. Ces objectifs secondaires sont parfois optionnels et ils ne deviennent accessibles qu'en fonction des besoins supposés de l'apprenant-joueur, besoins qui sont déduits de l'évaluation de ses actions antérieures.

Pour décrire cette capacité d'adaptation des activités, nous allons prendre l'exemple de *Science en jeu*<sup>30</sup>. Dans ce jeu sérieux, une quête s'appelle « *Oh la la* » et vise à enseigner les différentes techniques de dépollution d'une rivière. Une des premières activités de cette quête est une analyse de laboratoire qui a deux modes de fonctionnement. Le premier mode de fonctionnement est le mode « *débutant* » qui propose un tutoriel d'initiation à l'apprenant-joueur. Le second mode est le mode « *expérimenté* » qui ne propose aucune aide et laisse l'apprenant-joueur faire son analyse de laboratoire tout seul. En fonction du

<sup>30</sup> Voir la description de *Science en jeu* p.52.

contenu du modèle de l'apprenant (c'est-à-dire s'il a déjà fait une analyse de laboratoire auparavant), l'activité n'a donc pas le même comportement. Comme les activités sont des « boîtes noires », *MoPPLiq* décrit ces différents comportements et leurs liens avec le modèle de l'apprenant-joueur (donc, les objectifs qu'il a travaillés auparavant) en utilisant plusieurs éléments `<input_state>` (états d'entrées) pour chaque activité comme l'illustre la Figure 26.

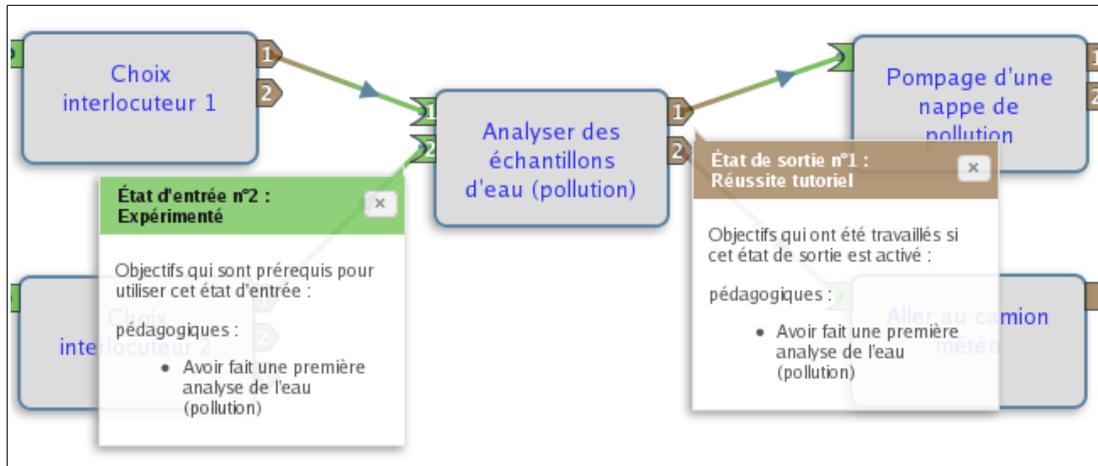
```
<activity id_activity="15">
  <name>Analyser des échantillons d'eau </name>
  <input_states>
    <input_state id_input="17" name="Débutant" />
    <input_state id_input="18" name="Expérimenté" />
  </input_states>
  <output_states>
    <output_state id_output="25" name="Réussite tutoriel" />
    <output_state id_output="26" name="Réussite autonome" />
  </output_states>
</activity>
<goals>
  <goal id_goal="41" type="edu">
    <name>Avoir fait une première analyse de l'eau
    (pollution)</name>
    <goal_links>
      <goal_link object="output_state" id_object="25" />
      <goal_link object="input_state" id_object="18" />
    </goal_links >
  </goal>
</goals>
```

**Figure 26 :** Extrait du fichier XML décrivant *Science en jeu* dans lequel plusieurs états d'entrée modélisent différents comportements d'une activité

L'objectif (`<goal>`) « *Avoir fait une première analyse de l'eau (pollution)* » est un prérequis de l'état d'entrée (`<input_state>`) « *Expérimenté* ». Il est aussi un objectif pédagogique travaillé de l'état de sortie (`<output_state>`) « *Réussite tutoriel* ». Ainsi, un apprenant-joueur novice qui commence l'activité par l'état d'entrée « *Débutant* » en sort avec l'état de sortie « *Réussite tutoriel* » et le modèle de l'apprenant est mis à jour avec l'objectif nouvellement travaillé « *Avoir fait une première analyse de l'eau (pollution)* ».

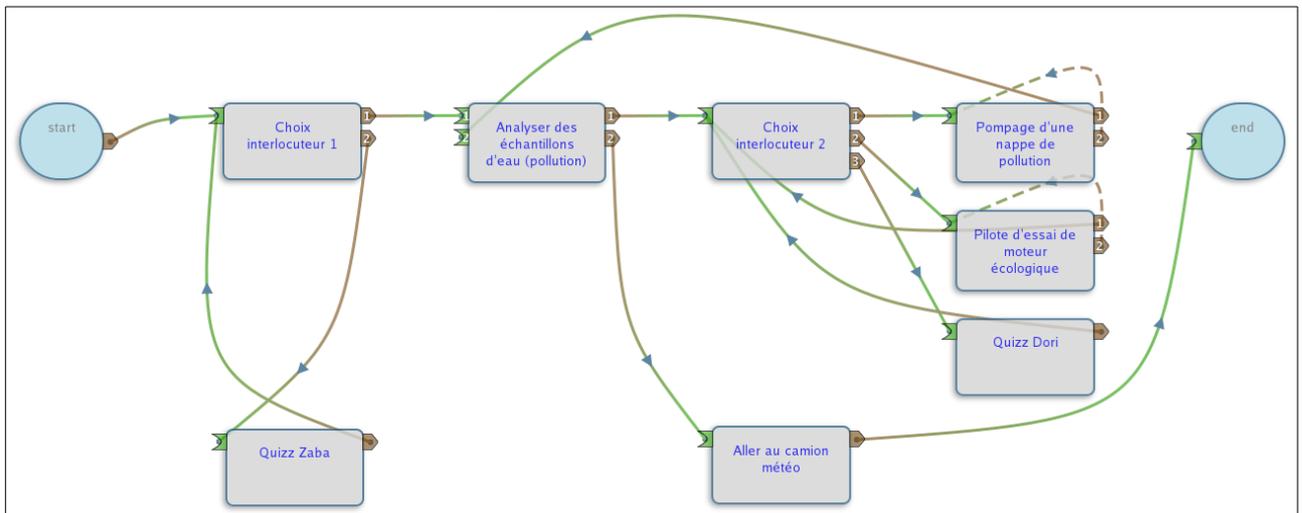
Dans la section II p.69, les EML et plus précisément IMS-LD ont été présentés comme une des fondations des scénarisations par composants dans les EIAH. C'est aussi le cas de *MoPPLiq* qui reprend les propositions d'IMS-LD, mais, en suivant la même démarche que [Dalziel, 2008] avec *LAMS*, les simplifie en les adaptant à deux des contraintes des travaux présentés ici : un modèle *MoPPLiq* doit être compréhensible par des enseignants et sa cohérence doit pouvoir être vérifiée. Ainsi, les états de sortie et leurs objectifs associés peuvent être compris comme des éléments simplifiés d'IMS-LD niveau 2 [Koper & Olivier, 2004 ; Lejeune, 2004] : les conditions et les propriétés. C'est en n'utilisant qu'un seul type de condition (assimilable à « *si est présent* ») à appliquer à une seule propriété (les objectifs prérequis et travaillés) que *MoPPLiq* simplifie cet aspect d'IMS-LD.

La Figure 27 détaille la représentation graphique pour l'extrait du modèle MoPPLiq placé en Figure 26. Elle montre la différenciation des objectifs prérequis associés aux états d'entrée et des objectifs travaillés associés aux états de sortie.



**Figure 27 :** L'activité (boîte grise au centre) d'analyse de l'eau de la quête « Oh la la » de Science en jeu est modulable. Le premier état d'entrée (chevron vert n° 1) correspond au laborantin novice : sans prérequis liés à l'expérience de laboratoire. Le second état d'entrée est réservé aux laborantins expérimentés, ce qui est modélisé avec le prérequis « Avoir fait une première analyse de l'eau (pollution) ».

La Figure 28 montre la représentation graphique du modèle MoPPLiq de toute la quête « Oh la la » de Science en jeu. Notons que l'introduction des états d'entrées multiples pour les activités permet de ne plus seulement avoir des parcours arborescents, mais des graphes, pouvant contenir des boucles.



**Figure 28 :** Ce parcours pédo-ludique complexe est celui du début de l'Archipel Environium de Science et jeu, avec la quête « Oh la la » et ses activités périphériques. Voir aussi la copie d'écran sur la Figure 17 p.52.

## III.4. MoPPLiq : un modèle formel et opérationnalisable

---

Le but de la conception du modèle *MoPPLiq* est de représenter de façon intelligible un scénario pédago-ludique de jeu sérieux, dont la planification pourra être modifiée pour être adaptée. Et ceci pour servir de fondement à l'outil auteur permettant aux enseignants et aux tuteurs de s'approprier et de manipuler les parcours pédago-ludiques. Ce modèle poursuit donc plusieurs fins : décrire la scénarisation des jeux sérieux, être lisible par des enseignants (sous sa forme graphique) et être suffisamment formel pour être opérationnalisable et servir de fondement à l'outil auteur. Dans cette section, je présente deux aspects du formalisme de *MoPPLiq* : d'une part le choix du formalisme XML et la présentation de son schéma XSD, d'autre part son diagramme entité-association.

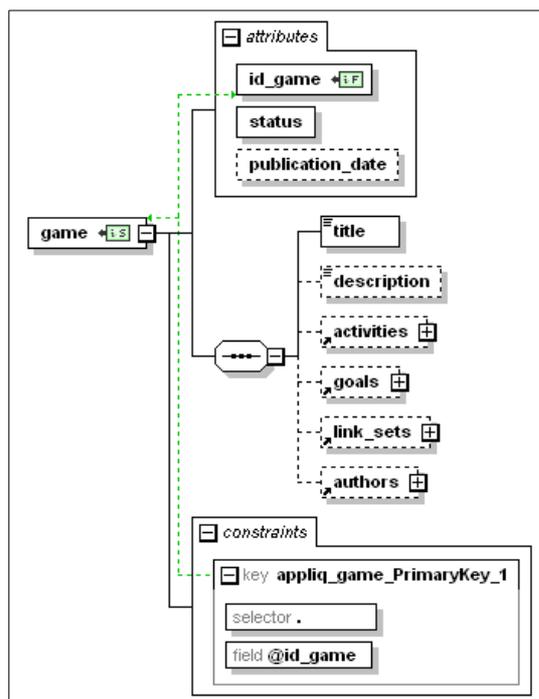
### III.4.1. Modèle et méta-modèle en XML pour permettre la lecture et la validation des fichiers *MoPPLiq*

Dans le domaine des EIAH (ex. IMS-LD, LAMS, etc.), comme dans celui des jeux sérieux (*Legadee*, *eAdventure*, etc.), l'utilisation du XML pour formaliser les scénarios est largement répandue. C'est donc le choix qui s'imposait tout naturellement pour *MoPPLiq*. Mais, ce choix a aussi été guidé par des raisons stratégiques et techniques. En effet, le XML dispose d'un certain nombre de qualités nécessaires pour *MoPPLiq* et à son outil auteur. En premier lieu, et pour renforcer son formalisme, il était nécessaire que des fichiers *MoPPLiq* puissent être validés sur le fond et sur la forme. La validation sur le fond est prise en charge par l'outil auteur<sup>31</sup>. La validation de la forme est facilitée par le choix du XML qui peut être facilement vérifié grâce à un méta-modèle sous forme de schéma XML (XSD). Un schéma XSD permet de définir les règles de conformité d'une instance du modèle XML. Le schéma XSD de *MoPPLiq* est disponible en ligne<sup>32</sup> et en annexe VII p.185.

---

31 Voir la description du système de validation des modèles *MoPPLiq* décrit dans la section I.4 du Chapitre 4. p.108.

32 [http://seriousgames.lip6.fr/appliq/MoPPLiq\\_XML\\_v0.3.xsd](http://seriousgames.lip6.fr/appliq/MoPPLiq_XML_v0.3.xsd)



**Figure 29 :** Représentation graphique simplifiée du schéma XML de MoPPLiq (le diagramme complet figure en annexe VI p.184)

La représentation graphique de la XSD de *MoPPLiq* présentée dans la Figure 29 n'est qu'un extrait qui complète la Figure 21 p.77 et la Figure 24 p.80. Ici, l'élément racine (`<games>`) du modèle *MoPPLiq* n'est pas figuré, mais l'élément principal (`<game>`) est représenté. Il se décompose notamment comme indiqué dans les trois sections précédentes (III.1, III.2, III.3) : les `<activity>` d'un jeu sérieux donné sont rassemblées dans un élément `<activities>`, les `<goal>` dans un élément `<goals>`, et les parcours (`<link_set>`) dans un élément `<link_sets>`. Chacun des éléments est individualisé des autres éléments du même type par un identifiant numérique qui sert de référence comme nous l'avons vu dans les exemples précédents (Figure 20, Figure 23 et Figure 26). Le diagramme complet du schéma XSD de *MoPPLiq* figure en annexe VI p.184.

Dans le contexte d'une ingénierie dirigée par les modèles, le XML présente d'autres avantages qui ont été déterminants dans ce choix de formalisme de description. Deux aspects principaux facilitent beaucoup les manipulations. D'une part, le fait que le XML ait une structure arborescente (DOM) pour lequel de nombreux langages de programmation implémentent des fonctions et des classes spécifiques, destinées à la parcourir et à la manipuler efficacement. D'autre part, le fait que le XML se prête facilement à la transformation de modèle, notamment grâce aux méta-modèles décrits sous forme de schémas XSD et aux feuilles de transformations XSLT.

Enfin, il y a deux dernières caractéristiques qui ont présidé au choix du XML pour *MoPPLiq*. D'une part, l'existence des espaces de noms en XML qui sont un bon moyen de maintenir un modèle tout en le rendant facilement extensible

ou intégrable dans un modèle plus grand. D'autre part le fait que le XML reste un format qui en plus d'être facilement interprété par des machines peut éventuellement être lu et compris par des humains.

### III.4.2. Modèle entité-association de MoPPLiq

Le modèle *MoPPLiq* peut aussi être représenté sous forme de diagramme entité-association. Ainsi, la Figure 30 ci-dessous donne un autre point de vue sur le modèle qui permet d'envisager la façon dont les données seront manipulées par l'outil auteur d'adaptation des parcours.

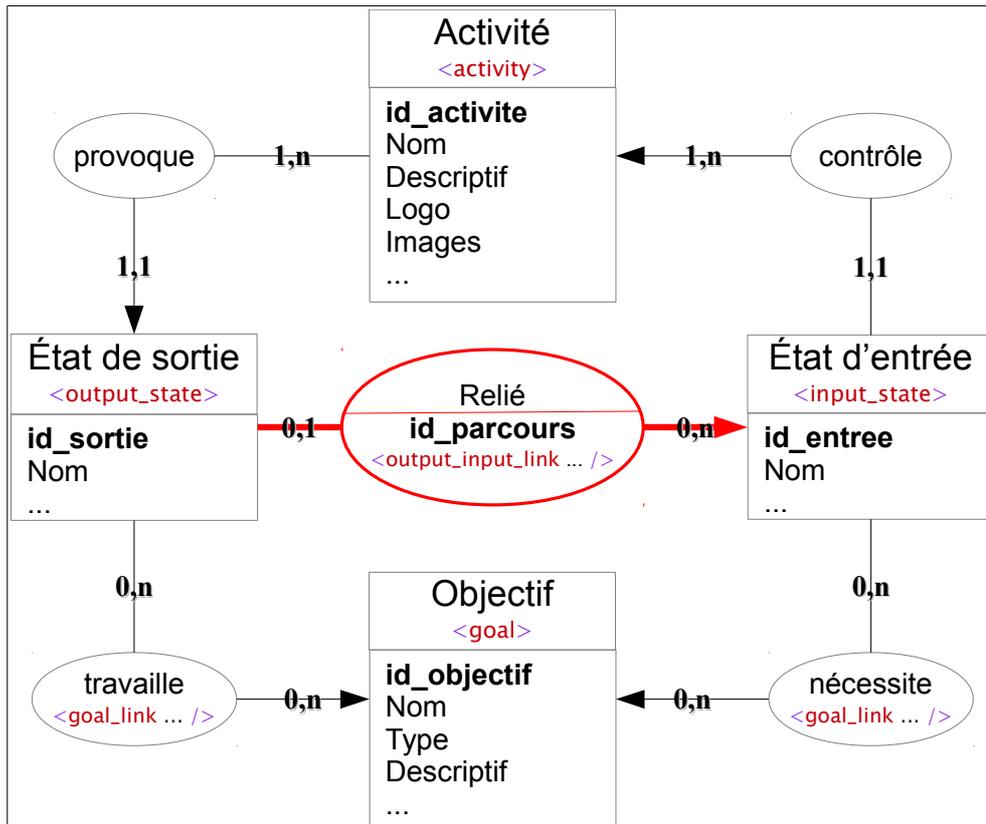


Figure 30 : Diagramme entité-association du modèle MoPPLiq

Ce diagramme, bien que centré sur la notion d'activité, met surtout en avant le rôle fondamental des états d'entrée et de sortie dans la formation des parcours. C'est l'ensemble des associations « Relié » entre entités « État de sortie » et les entités « État d'entrée » qui forment un parcours. Les entités « Objectif » pédagogiques sont distinguées des ludiques seulement par leur attribut « Type ». Ces entités « Objectif » ne sont pas associées directement aux entités « Activité », mais aux entités « États d'entrée » (« nécessite ») et « État de sortie » (« travaille »). Les cardinalités des associations permettent de s'assurer que les entités « Activité » sont associées à un nombre  $n > 1$  d'entités « États d'entrée » et « État de sortie » ; que les entités d'« Objectif » peuvent être librement associées aux entités « États d'entrée » et « État de sortie » et enfin que les entités « État de sortie » ne s'associent bien qu'une

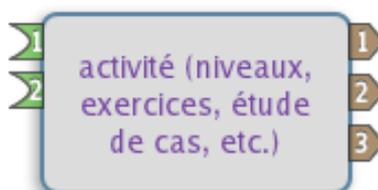
seule fois maximum, alors que les entités « États d'entrée » peuvent être associées n fois.

### III.5. Synthèse sur le modèle MoPPLiq

Cette section a été consacrée à détailler les différents aspects du modèle *MoPPLiq*. Ce modèle implémente plusieurs patrons de conception en étant fondé sur les différents aspects des modèles de scénarisation étudiés dans l'état de l'art de la section II p.69. Le modèle repose sur trois principes :

- les scénarios sont découpés en « **activités** » (qui sont, par exemple, des niveaux ou des exercices ou encore des études de cas)
- dans une activité, les choix de l'apprenant-joueur qui ont un impact pédagogique ou ludique sont décrits par des « **états de sortie** »
- si l'activité a plusieurs modes de fonctionnement qui impliquent des prérequis différents, ils sont décrits par des « **états d'entrée** ».

Les **états d'entrée** définissent quelles particularités de l'apprenant-joueur qui **modifient** le déroulement de l'activité



Les **états de sortie** matérialisent les **choix** (et la performance) de l'apprenant-joueur utilisés pour les enchainements avec d'autres activités

**Figure 31** : Trois aspects du modèle MoPPLiq: l'activité, les états de sortie et les états d'entrée

Ces états de sortie et les états d'entrée sont caractérisés par des **objectifs pédagogiques** ou **ludiques** respectivement *travaillés* et *prérequis*, et ils peuvent être reliés entre eux pour former des **parcours**. Les parcours ainsi formés représentent l'ensemble des successions d'activités possibles pour un apprenant-joueur donné, ce qui est représenté graphiquement par des graphes comme la Figure 28 p.83 ou la Figure 33 p.94.

La section suivante présente l'évaluation de l'expressivité de *MoPPLiq* selon deux modalités : d'une part la modélisation de plusieurs jeux sérieux, d'autre part la transformation de modèles depuis celui d'outils auteurs de jeux sérieux.

---

## ***IV. Mise à l'épreuve de MoPPLiq***

---

Pour déterminer si *MoPPLiq* est suffisamment générique pour décrire un grand nombre de jeux sérieux, et donc pour mesurer son expressivité, j'ai choisi deux méthodes détaillées dans les sous-sections qui suivent. La première méthode consiste à modéliser les scénarios de nombreux jeux sérieux et même de jeux vidéo avec *MoPPLiq*, pour en tester les limites. La seconde méthode consiste à effectuer des transformations de modèles entre les modèles sous-jacents d'outils auteurs de jeux sérieux reconnus (*Legadee* et *eAdventure*) et *MoPPLiq*. Le principe est de vérifier si *MoPPLiq* est capable d'exprimer l'intégralité de ce que ces outils auteurs modélisent.

### **IV.1. Modélisations de nombreux jeux sérieux**

---

La première évaluation de *MoPPLiq* a donc consisté à modéliser de nombreux jeux sérieux en suivant le formalisme décrit dans les sections précédentes. Nous avons pour cela choisi un corpus de jeux sérieux accessibles facilement (jouables en ligne) et gratuitement, en considérant principalement ceux dont le scénario peut facilement être découpé en étapes (par ex. : des niveaux, des exercices ou des études de cas). Nos résultats (Tableau 3 p.90) portent donc sur dix-sept jeux sérieux ayant ces caractéristiques.

#### ***IV.1.1. Méthodologie de modélisation avec MoPPLiq***

Cette étape de validation a été l'occasion de mettre au point une méthode de modélisation avec *MoPPLiq*. Cette méthode s'appuie principalement sur le fait que *MoPPLiq* est un modèle destiné à la modification des scénarios de jeux sérieux. Dans le contexte de ces modifications, il est fondamental d'être capable de mesurer et de maintenir la cohérence des parcours construits. Or, la mesure de cette cohérence se fait par l'adéquation entre les objectifs prérequis (au niveau des états d'entrée) et les objectifs qui ont pu être travaillés (au niveau des états de sortie)<sup>33</sup>. C'est

---

33 Voir aussi la section I.4 du Chapitre 4. p.108.

pourquoi j'ai choisi d'axer la méthode de modélisation avec *MoPPLiq* sur les prérequis définis pour les états d'entrée.

Cette méthode est composée de trois phases. La première phase consiste à distinguer les activités en faisant un découpage du scénario du jeu sérieux. Au cours de cette étape, les activités sont identifiées comme séquences qui peuvent être distinguées les unes des autres, notamment par les apprentissages qu'elles permettent ou par des caractéristiques de *gameplay* (comme indiqué par le patron de conception « *Levels* » [Björk & Holopainen, 2005]).

La seconde étape consiste à déterminer si ces activités possèdent différentes configurations comme ce fut le cas de l'analyse de l'eau dans la quête « *Oh la la* » de *Science en jeu*, présenté dans la sous-section III.3 p.81 (et notamment les figures 26 et 27). Ces configurations représentent des états d'entrée pour lesquels il faut déterminer les prérequis pédagogiques et ludiques. Ainsi s'élabore une liste des objectifs (pédagogiques ou ludiques) à travailler et donc qu'il faut attribuer aux états de sortie des activités du jeu sérieux.

La dernière phase consiste à procéder à cette attribution. C'est-à-dire qu'il s'agit de rechercher les activités dans lesquelles les objectifs étiquetés comme prérequis à l'étape précédente peuvent être travaillés. Et cela, en distinguant les éventuels états de sortie, quand les activités proposent plusieurs résolutions possibles. À cette étape, il est également possible d'attribuer de nouveaux objectifs travaillés (prérequis d'aucune activité) aux états de sortie des activités. Ces nouveaux objectifs travaillés ne seront donc pas utilisés pour évaluer la cohérence des parcours péda-go-ludiques modélisés.

C'est en suivant cette méthode que les jeux sérieux sélectionnés ont été modélisés au cours de la mise à l'épreuve de *MoPPLiq* dont le protocole est décrit dans la sous-section suivante.

#### **IV.1.2. Protocole de l'évaluation**

Le travail de modélisation a été mené par un groupe de quatre personnes, trois étudiants de Master 2 IAD<sup>34</sup> à l'Université Pierre et Marie Curie et moi-même. Dans ce travail, deux étapes sont distinguées : une première étape d'analyse du jeu sérieux, au cours de laquelle le jeu sérieux est parcouru autant que possible et des notes sont prises. Une seconde étape de construction du modèle (qui s'est faite sur une version préliminaire de l'outil auteur) au cours de laquelle, le jeu sérieux lui-même est souvent utilisé pour vérifier certains aspects.

#### **IV.1.3. Résultats de l'évaluation et discussion**

##### **a) Résultats**

Le Tableau 3 présente une vue synthétique des résultats de ces travaux de modélisation. Ces résultats synthétiques sont détaillés et discutés par la suite.

---

<sup>34</sup> Le Master 2 dit « IAD » est une spécialité d'Intelligence Artificielle et Décision du Master d'Informatique de l'UPMC.

Jeux sérieux	Types de Scenario		Adapt. Dyn.	Temps		Boucles	Objectifs Déc.	Événements Globaux
	Linéaires	Branchés		Seq.	Cont.			
Academy Island	OK	-	-	OK	-	-	-	-
Ayiti	-	Pas OK	-	-	Pas OK	Pas OK	Pas OK	Pas OK
CellCraft	~ OK	-	-	OK	-	-	-	-
Défenses Immunitaires	-	OK	-	OK	-	-	-	-
Donjons & Radon	OK	-	-	OK	-	-	-	-
Science en jeu	-	OK	OK	OK	-	OK	Pas OK	-
Facteur Academy	-	OK	-	OK	-	OK	-	-
FoodForce	OK	-	-	OK	-	OK	-	-
Harmoniculteurs	OK	-	-	OK	-	-	Pas OK	-
Les ESCPER	-	OK	-	OK	-	-	-	-
Ludiville	OK	-	-	OK	-	-	-	-
McDonald's video game	-	Pas OK	OK	-	Pas OK	OK	-	Pas OK
Mécagenius	-	OK	OK	OK	-	-	-	-
Mon coach APB	OK	-	-	OK	-	OK	-	-
Prog & Play	OK	-	-	OK	-	-	-	-
Refraction	OK	-	-	OK	-	-	-	-
Starbank	OK	-	-	OK	-	-	-	-

**Tableau 3 :** Résultats des essais de modélisation de jeux sérieux avec MoPPLiq. « Adap. Dyn. » signifie « Adaptation Dynamique » au modèle de l'apprenant-joueur (voir aussi la section III.3 p.81). « Seq. » signifie « temps séquentiel » par opposition au temps continu « Cont. » qui ne tient pas compte de l'aspect discret du jeu et qui est compté globalement. « Objectifs Déc. » correspond à la présence d'objectifs quantifiés susceptibles d'être décrémentés au cours du jeu sérieux. « OK » indique une caractéristique qui a pu être bien décrite avec MoPPLiq, tandis que « Pas OK » indique une caractéristique pas ou mal décrite avec MoPPLiq. « ~ OK » indique que le jeu sérieux est bien modélisé sauf l'histoire qui l'accompagne.

## b) Parcours linéaires

Dans la plupart des cas (dix cas sur dix-sept), les jeux sérieux avaient un scénario *linéaire* ce qui est facile à modéliser avec MoPPLiq (comme *Refraction* sur la Figure 20 p.76 et la Figure 22 p.78). À l'exception de l'un d'entre eux, nous avons donc été capables de les décrire complètement avec MoPPLiq. L'exception est *CellCraft* pour lequel chaque niveau est parfaitement décrit par MoPPLiq, mais nous n'avons pas trouvé de moyen satisfaisant de décrire l'histoire qui est contée en début de chaque niveau au moyen des objectifs ludiques (« travaillés » ou prérequis) de MoPPLiq.

## c) Parcours non linéaires

Sept des dix-sept jeux sérieux ont des scénarios non linéaires (*branchés*). Grâce à l'utilisation de plusieurs états de sortie (voir *Les ECSPER*, figures 23 et 25 p.79-81), nous avons été capables de décrire complètement la

plupart d'entre eux. Nous avons rencontré des problèmes avec deux d'entre eux. Le premier jeu sérieux qui nous a posé problème est *Ayiti* parce qu'il est difficile de le découper en étapes. Ce jeu sérieux a d'autres particularités qui sont un défi à décrire avec *MoPPLiq*. Ainsi, des événements y sont déclenchés en fonction du temps écoulé (ex. : fin d'un compte à rebours, changement de saison), mais indépendamment de l'activité dans laquelle le joueur se trouve. Ces événements peuvent interrompre une activité pour en déclencher une autre. C'est aussi le cas du second jeu avec lequel nous avons rencontré des problèmes : *Mc Donald's video game* dans lequel des événements du restaurant peuvent interrompre le joueur dans n'importe quelle activité.

#### d) Problématique des éléments continus (non discrets)

Une des questions qui se pose désormais est de savoir s'il faut incorporer à *MoPPLiq* ce concept d'événements globaux (que nous appelons ainsi par opposition aux événements locaux qui n'ont d'effet qu'à l'intérieur d'une activité donnée), capables de déclencher des interruptions d'activités et de rebrancher les apprenants-joueurs sur une autre activité. Un des obstacles à cette intégration est lié au rôle de *MoPPLiq* : ce modèle est destiné à servir de fondement à un outil auteur permettant aux enseignants d'adapter la scénarisation des jeux sérieux à leurs besoins. Or, ceci implique qu'il soit possible de vérifier *a priori* (avant que les apprenants-joueurs ne l'utilisent) la cohérence des scénarios modifiés par les enseignants (c'est-à-dire vérifier qu'ils sont sans incohérence entre les objectifs prérequis et les objectifs qui ont forcément été travaillés dans les différents chemins possibles qui les précèdent). Les événements globaux pouvant survenir (ou ne pas survenir) à n'importe quel moment de la partie de l'apprenant-joueur et changer la scénarisation, cela entre en contradiction avec une vérification *a priori* du scénario.

#### e) Problématique des quantités continues (non discrètes)

Un autre aspect d'*Ayiti* est difficile à modéliser avec *MoPPLiq*. Il s'agit des objectifs quantifiés qui peuvent notamment être décrétementés, c'est pourquoi nous les désignons par « Objectifs Déc. » dans le Tableau 3. Dans *Ayiti*, l'apprenant-joueur incarne une famille qui doit survivre malgré sa pauvreté. Nous pouvons facilement modéliser le fait que cette famille puisse gagner de l'argent avec les objectifs « travaillés » en passant par un état de sortie (incrémentement d'un objectif quantifié). Mais, nous avons du mal à modéliser le fait que la famille perde de l'argent (décrémentement d'un objectif quantifié). Pour résoudre ce problème, j'ai dans un premier temps travaillé à l'introduction de scores ou de pourcentages sur les objectifs « travaillés » et prérequis dans *MoPPLiq*. Ainsi, ce ne serait plus l'objectif lui-même qui serait attribué au modèle de l'apprenant lors du franchissement d'un état de sortie, mais un score positif ou négatif sur l'objectif désormais quantifié dans le modèle de l'apprenant. Cependant, en gardant à l'esprit le but de la modélisation avec *MoPPLiq* qui est de permettre aux enseignants et formateurs de pouvoir manipuler la scénarisation des jeux sérieux pour les adapter à leurs besoins, je me suis rendu compte que la généralisation de ce principe dans *MoPPLiq* n'était pas souhaitable. En effet, six des dix-sept jeux

sérieux modélisés possèdent des boucles dans leurs scénarios (comme la quête « *Oh la la* » de *Sciences en jeu* décrite Figure 28 p.83). Or, comme nous ne savons pas *a priori* combien de tours de boucle l'apprenant-joueur va effectivement parcourir, nous ne pouvons vérifier automatiquement si un parcours contenant des activités avec des objectifs prérequis quantifiés est cohérent<sup>35</sup>. En conséquence, j'ai choisi d'écarter provisoirement cette piste des *objectifs quantifiés* par des scores, et donc la modélisation complète d'*Ayiti* avec *MoPPLiq*.

#### f) Activités adaptables

Parmi les dix-sept jeux sérieux testés, seuls trois d'entre eux comportent des activités capables de s'adapter dynamiquement au profil de l'apprenant (« *Adapt. Dyn.* » dans le Tableau 3). Cette particularité est bien modélisée avec des états d'entrée différents. Pour deux d'entre eux (*Mécagénus* et *Science en jeu*) la modélisation avec *MoPPLiq* n'a pas posé de problème. Pour le dernier (*Mc Donald's video game*), les problèmes rencontrés ne sont pas liés à la modélisation de cette adaptation dynamique (voir le c p.90).

#### g) Bilan

Donc, *MoPPLiq* permet de modéliser complètement treize jeux sérieux sur les dix-sept testés (voir Tableau 3). Le problème principal posé par certains des jeux sérieux mal modélisés est celui de la modélisation d'éléments continus (histoire contée, compte à rebours, événements, etc.) dans une scénarisation discrète (découpage en activités). L'autre aspect problématique est la modélisation des objectifs quantifiés (notamment décrémentation) qui a été écartée. Malgré ces deux difficultés, ces résultats montrent que *MoPPLiq* est un modèle pertinent pour décrire la plupart des jeux sérieux testés.

Même si ce type d'évaluation, fondé sur la modélisation de nombreux jeux sérieux, ne peut être exhaustif, les résultats très positifs nous ont semblé très encourageants. Par conséquent, pour compléter cette évaluation et confirmer ces résultats, j'ai entrepris un autre type d'évaluation de *MoPPLiq*, fondé sur la transformation de modèles.

## IV.2. Transformation de modèles

Modéliser des jeux sérieux ne permet pas forcément de couvrir un large spectre de types de jeux sérieux, c'est pourquoi j'ai décidé de compléter cette première méthode d'évaluation par une seconde méthode se situant à un niveau méta. Cette méthode consiste en la réalisation d'un algorithme de transformation de modèle partant de fichiers décrivant des jeux sérieux conçus avec des outils auteurs pour les transformer en fichiers au format *MoPPLiq*. Le but est de vérifier que le formalisme de *MoPPLiq* permet bien d'exprimer l'ensemble des contenus que ces outils auteurs permettent de créer. Pour avoir une vision la plus diversifiée possible, j'ai choisi de travailler sur les fichiers

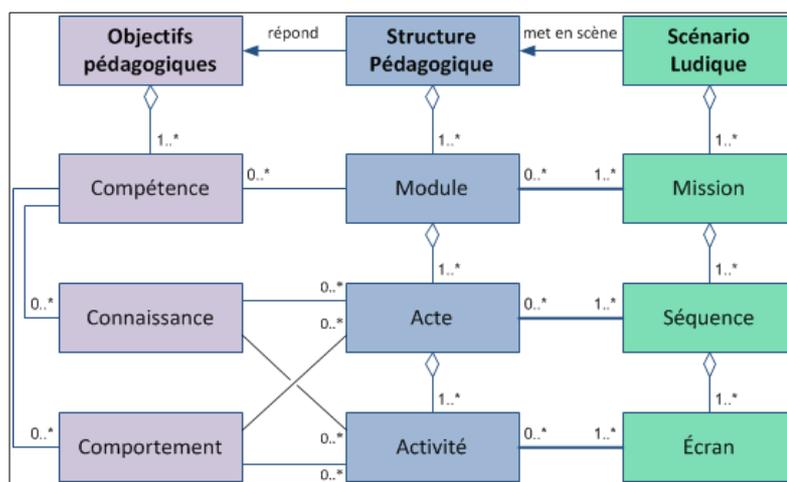
35 Voir aussi la description du système de vérification des incohérences décrit dans la section I.4 du Chapitre 4. p.108.

de deux types d'outils auteurs très différents : d'une part avec **L**egadee [Marfisi-Schottman, 2012], d'autre part avec **E**Adventure [Moreno-Ger et al., 2006].

#### IV.2.1. **L** Transformation depuis le modèle de Legadee

Comme nous l'avons déjà vu plusieurs fois<sup>36</sup>, *Legadee* est un outil auteur de conception de jeux sérieux. Il permet aux différents intervenants de la conception de coordonner leurs efforts pour produire un cahier des charges de développement coordonnant les aspects pédagogiques et ludiques [Marfisi-Schottman, 2012]. *Legadee* repose sur un modèle de scénarisation distinguant et reliant les aspects pédagogiques et ludiques.

Le Tableau 4 p.95 présente les principaux exemples de correspondances utilisées dans l'algorithme de transformation que j'ai implémenté dans un logiciel de transformation de modèle. Ce logiciel parvient donc à transformer de façon complètement automatique un fichier XML sauvegardé par *Legadee* en un fichier au format *MoPPLiq* formellement valide. La quasi-totalité des informations présentes dans le modèle de *Legadee* est donc exprimée dans *MoPPLiq*. Ceci est sans doute dû au fait que les modèles sous-jacents sont proches (voir Figure 32 ci-dessous) et dérivés des concepts fondateurs du standard IMS-LD. Il reste toutefois une fonctionnalité qui est présente dans *Legadee* et que *MoPPLiq* n'exprime pas : c'est la capacité à proposer des activités gigognes, c'est-à-dire contenant elles-mêmes d'autres activités reliées entre elles. Cette fonctionnalité pourrait être utile pour simplifier la lecture de la représentation graphique des gros parcours. Mais, c'est un aspect qui se discute, car le masquage de la complexité dans un système d'arbre (groupe d'activités inclus dans une activité) peut aussi introduire une nouvelle forme de complexité pour l'utilisateur et le dérouter par le fait que certains éléments présents ne sont pas immédiatement visibles.



**Figure 32** : Modèle de mise en scène ludique des scénarios dans *Legadee* (issu de [Marfisi-Schottman, 2012]).

36 Voir notamment la section II du Chapitre 2. p.23 et la section II p.69 du présent chapitre.



### IV.2.3. Bilan

Les résultats des transformations de modèles des fichiers issus de deux outils auteurs de jeux sérieux dans le format *MoPPLiq* résumés sur le Tableau 4 confirment les résultats obtenus précédemment en modélisant de nombreux jeux sérieux (section IV.1 p.88) : l'expressivité du formalisme de *MoPPLiq* est adéquate pour décrire la plupart des éléments de scénarisation des jeux sérieux qui peuvent être découpés en étapes distinctes (discrets). Et ce, même si quelques améliorations pourraient être introduites comme la possibilité de gérer des activités gigognes. En revanche, il semble difficile d'introduire dans le modèle *MoPPLiq*, qui est fondamentalement discret et qui vise à être manipulé et modifié automatiquement, des éléments continus comme des événements globaux.

	 <b>Activités</b> <activity>	 <b>États d'entrée</b> <input_state>	 <b>États de sortie</b> <output_state>	 <b>Objectifs</b> <goal>
<b>Legadee</b>	Les activités correspondent à l'élément <screen>	Les états d'entrée correspondent aux points d'arrivée des éléments <Connector>. (Pour un même élément <screen>, les états d'entrée sont distingués par les éléments <condition> imbriqués dans les éléments <Connector>)	Les états de sortie correspondent aux points de départ des éléments <Connector>.	Les objectifs « travaillés » correspondent aux éléments <competency>, <knowledge> et <behaviors> qui sont reliés à chaque élément <screen>. Les objectifs prérequis correspondent aux éléments <condition> des éléments <Connector> entrants.
<b>eAdventure</b>	Les activités correspondent le plus souvent aux éléments <scene>, mais peuvent aussi correspondre à des scènes de coupe (<slidescene>, <videoscene>, <graph-conversation>) ou à des conversations, quand celles-ci peuvent déclencher une nouvelle scène ou conversation.	Les états d'entrée correspondent aux cibles des éléments <next-scene> (contenus dans des <exit>) et <trigger-xxxx> (où xxxx correspond au type de scène comme « slidescene », « videoscene » ou « conversation »). (Pour un même élément cible, les états d'entrée sont distingués par les attributs <i>DestinyX</i> et <i>Y</i> qui leur sont associés ou par les éléments <condition>).	Les états de sortie correspondent à chaque élément <exit> ou <trigger-xxxx> contenus dans une <scene> et qui pointent vers une cible distincte (les cibles sont distinguées par les éléments <condition> et <effect>, et par les attributs <i>DestinyX</i> et <i>Y</i> ).	Les objectifs ludiques correspondent aux « flags » <condition> utilisés pour relier les objets. Les « travaillés » sont contenus dans les éléments <effects>. Les « prérequis » sont contenus dans les éléments <condition>. Il n'y a pas d'objectifs pédagogiques dans le formalisme d'eAdventure.

**Tableau 4 :** Exemples principaux des correspondances utilisées dans l'algorithme de transformation de modèle de Legadee et eAdventure vers MoPPLiq.

### IV.3. Conclusion sur l'évaluation de MoPPLiq

---

Les deux méthodes d'évaluation de *MoPPLiq* utilisées (modélisation de jeux sérieux et transformation depuis des modèles issus d'outils auteurs de jeux sérieux) donnent donc des résultats concordants. Ces résultats montrent que *MoPPLiq* semble suffisamment expressif pour décrire la scénarisation de jeux sérieux discrets. Les aspects continus (scénarios, variables, etc.) des jeux sérieux étant la limite de ce modèle, qui n'a pas été conçu pour cet usage.

Ces travaux ont dégagé des perspectives de réflexion sur les emboitements possibles dans les activités, notamment comme dans *Legadee*, un système d'emboitement d'un parcours dans une activité.

Enfin, ces travaux de validation ont confirmé que *MoPPLiq* pouvait servir de fondement à l'élaboration d'un outil auteur capable de manipuler les scénarios qu'il modélise. Cet outil auteur dont la mission est de permettre aux enseignants l'adaptation des parcours pédago-ludique est décrit dans le chapitre suivant.

---

## V. Conclusion sur le modèle MoPPLiq

---

Les travaux présentés dans ce chapitre ont été menés dans la perspective d'une approche par le *meta-design* des jeux sérieux. Cette approche est le fruit d'une étude préliminaire, au cours de laquelle des enseignants ont exprimé le besoin d'outils d'adaptation de la scénarisation pédagogique pour s'approprier les jeux sérieux.

Il s'agit donc de permettre la co-conception des jeux sérieux dans l'usage en définissant un modèle, et son méta-modèle, capables de décrire à la fois les aspects ludiques et pédagogiques de leur scénario, et ce dans le but de les rendre intelligibles pour les enseignants (démarche d'instrumentation) et que leur planification soit manipulable (démarche d'instrumentalisation).

*MoPPLiq* est ce modèle, qui fournit aux enseignants des moyens d'instrumenter les jeux sérieux en visualisant graphiquement la scénarisation, et de les instrumentaliser en fournissant les bases d'un outil auteur leur permettant de les adapter à leur contexte pédagogique. En effet, le formalisme de *MoPPLiq* et de son méta-modèle les rendent pleinement opérationnalisables pour fonder l'outil auteur d'adaptation qui est présenté dans le chapitre suivant.

*MoPPLiq* est une combinaison innovante de trois aspects : (1) le fait de découper les scénarios de jeux sérieux en plusieurs activités (« boîtes noires ») discrètes dont les entrées et les sorties sont caractérisées par des sous-objectifs pédagogiques et ludiques travaillés ou prérequis. (2) Le fait de modéliser les choix et les performances au cours d'une activité des apprenants-joueurs grâce à plusieurs états de sortie, eux-mêmes connectés aux états d'entrées des activités suivantes. (3) L'utilisation de différents états d'entrée pour distinguer les configurations éventuelles des activités qui dépendent du modèle de l'apprenant-joueur. Les états d'entrée et de sortie étant indexés par des sous-objectifs pédagogiques et ludiques.

Les deux méthodes d'évaluation de *MoPPLiq* ont donné des résultats concordants qui permettent de conclure que le modèle est adapté pour la modélisation des parcours pédago-ludiques des jeux sérieux à étapes distinctes. Les deux limites du modèle sont, d'une part, qu'il n'intègre pas

encore de composants gigognes, et d'autre part, qu'il est difficile d'intégrer des éléments continus au sein d'une scénarisation discrète.

L'une des perspectives de recherche sur le modèle *MoPPLiq* est de questionner l'intégration des activités gigognes. Avec l'approche du *meta-design*, d'autres perspectives se dessinent également. *MoPPLiq* n'est pas un modèle conçu pour la scénarisation initiale des jeux sérieux, ni pour servir de support au suivi des apprenants-joueurs. Pourtant, comme *MoPPLiq* propose une expressivité adaptée pour écrire les jeux sérieux à étapes, il est intéressant d'envisager comment l'utiliser ou l'étendre à ces autres contextes d'utilisation. Ces perspectives de recherche font déjà l'objet de prémices au sein de l'équipe MOCAH.

# 4

## Chapitre 4. Outil auteur pour l'adaptation pédagogique et la vérification des jeux sérieux

Les recherches abordées dans ce chapitre ont fait l'objet de plusieurs publications :

- Marne B., Labat J.-M. « Implémentation de patrons de conception pour l'adaptation des parcours pédagogiques dans les jeux sérieux ». In : *Actes du 8ème Colloque Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement. TICE 2012*. Lyon, France, 2012. p. 69-79. (taux d'acceptation : 32 %)
- Marne B., Carron T., Labat J.-M. « Modélisation des parcours pédago-ludiques pour l'adaptation des jeux sérieux ». In : *Actes de la Conférence EIAH 2013. 6e Conférence sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*. Toulouse, France : IRIT Press 2013, 2013. p. 55-66. (taux d'acceptation : 39 %)
- Marne B., Carron T., Labat J.-M., Marfisi-Schottman Iza « MoPPLiq: A Model for Pedagogical Adaptation of Serious Game Scenarios ». In : *2013 IEEE 13th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT). 2013 IEEE 13th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*. Beijing, China : IEEE Computer Society, 2013. p. 291-293. (papier-court, taux d'acceptation : 42 %)
- Marne B., Labat J.-M. « Model and Authoring Tool to Help Teachers Adapt Serious Games to their Educational Contexts ». *IJLT*. 2014. Vol. 9 (to appear), Special Issue on Game-Based Learning. (taux d'acceptation : 26 %)

# Sommaire du chapitre

## Chapitre 4. Outil auteur pour l'adaptation pédagogique et la vérification des jeux sérieux.....99

I. Présentation d'APPLiQ.....	102
I.1. Un affichage des parcours pédao-ludiques destiné aux enseignants.....	102
I.2. Construire et modifier des parcours pédao-ludiques.....	104
I.3. Assistance par la détection des incohérences.....	105
I.4. Compensation automatique des incohérences ludiques avec les « activités tampon ».....	108
I.5. Cas d'utilisation d'APPLiQ.....	109
I.6. Scénario d'utilisation d'APPLiQ et méthode de création de nouveaux parcours.....	112
II. Architecture logicielle d'APPLiQ.....	114
II.1. Quelques choix d'implémentation pour APPLiQ.....	114
II.2. Quelques choix d'IHM pour APPLiQ.....	116
II.3. Particularités du parcours d'un graphe MoPPLiQ.....	119
II.3.1. Le graphe de MoPPLiQ.....	119
II.3.2. Algorithme de parcours de graphe.....	120
III. Implémentation du modèle MoPPLiQ dans les jeux sérieux à étapes.....	122
III.1. Implémentation de « bas niveau ».....	122
III.1.1. Gratification des objectifs travaillés dans une activité.....	123
III.1.2. Détermination de l'état de sortie en fonction des objectifs gratifiés.....	123
III.1.3. Détermination de l'état d'entrée suivant.....	123
III.2. Implémentation de « haut niveau ».....	125
IV. Mise à l'épreuve d'APPLiQ.....	126
IV.1. Des jeux sérieux pour mettre à l'épreuve APPLiQ et MoPPLiQ.....	126
IV.1.1. Jeu sérieux « Défenses Immunitaires ».....	127
IV.1.2. Jeu sérieux « Les Cristaux d'Éhère ».....	128
IV.1.3. Adaptation du jeu sérieux « Google Blockly Maze ».....	129
IV.2. Hypothèses à évaluer et indicateurs utilisés.....	130
IV.2.1. Indicateurs pour mettre à l'épreuve l'hypothèse 1.....	131
IV.2.2. Indicateurs pour mettre à l'épreuve l'hypothèse 2.....	131
IV.2.3. Indicateurs pour mettre à l'épreuve l'hypothèse 3.....	132
IV.2.4. Indicateurs pour les hypothèses 4 et 5.....	132
IV.3. Protocole, recrutement et déroulement de l'expérimentation.....	132
IV.3.1. Protocole de l'expérimentation.....	133
a) Étape 1 : présentation.....	133
b) Étape 2 : Prise en main et évaluation du jeu sérieux.....	133
c) Étape 3 : Examen du parcours pédao-ludique dans APPLiQ.....	133
d) Étape 4 : Création d'un parcours pédao-ludique.....	134
e) Étape 5 : Modification d'un parcours sous-optimal.....	134
f) Étape 6 : Bilan.....	134
IV.3.2. Recrutement des participants.....	135
IV.3.3. Biais liés au protocole et au recrutement.....	136
IV.3.4. Déroulement de l'expérimentation.....	136
IV.4. Résultats et discussion.....	138
IV.4.1. Résultats portant sur l'hypothèse 3.....	138
IV.4.2. Résultats portant sur l'hypothèse 2.....	140
IV.4.3. Résultats portant sur l'hypothèse 1.....	146
IV.4.4. Résultats portant sur les hypothèses secondaires 4 et 5.....	150
IV.4.5. Synthèse.....	150
V. Conclusion sur l'adaptation de la scénarisation des jeux sérieux au contexte.....	152

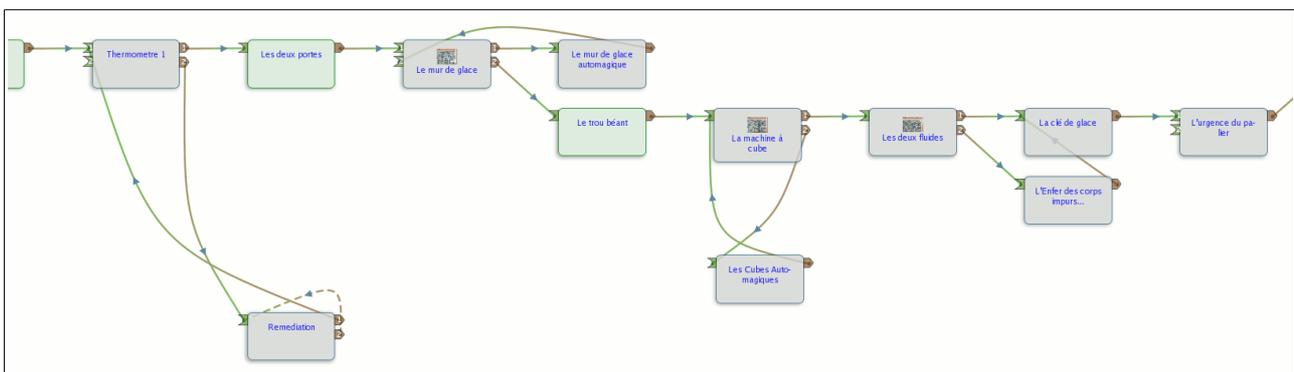
Le chapitre précédent détaille *MoPPLiq* qui est un modèle formel des parcours pédago-ludiques des jeux sérieux à étapes. En permettant aux enseignants et aux formateurs d'instrumenter les jeux sérieux, ce modèle est une première contribution aux recherches que j'ai menées sur le *meta-design*, c'est-à-dire sur la co-conception dans l'usage des jeux sérieux. Dans une démarche orientée vers l'ingénierie dirigée par les modèles, *MoPPLiq* prévoit également l'adaptation des scénarios de jeux sérieux en proposant une description formelle et vérifiable de la planification des parcours pédago-ludiques. Ce chapitre présente d'une part l'implémentation du modèle et du méta-modèle de *MoPPLiq* dans un outil auteur d'adaptation et de vérification des parcours pédago-ludique nommé *APPLiq* (**A**daptation des **P**arcours **P**édago-**L**udiques). Cet outil auteur propose donc aux enseignants un moyen d'instrumenter les scénarios des jeux sérieux. D'autre part, ce chapitre présente deux types d'implémentations de *MoPPLiq* dans des jeux sérieux qui sont utilisés pour évaluer *APPLiq*.

La première section du chapitre présente les principales fonctionnalités d'*APPLiq* qui sont orientées vers les besoins des enseignants-utilisateurs. Dans la seconde section, une vue synthétique de l'architecture logicielle d'*APPLiq* est présentée. La troisième section introduit les deux méthodes employées pour implémenter *MoPPLiq* dans les jeux sérieux, pour préparer l'évaluation d'*APPLiq* qui est présentée dans la quatrième section. La dernière section de ce chapitre fait le bilan des travaux sur l'implémentation de *MoPPLiq* et sur les travaux que j'ai menés sur les outils de co-conception dans l'usage des jeux sérieux.

## I. Présentation d'APPLiq

Cette section présente *APPLiq* sous ses différents aspects fonctionnels. Cet outil auteur, destiné à l'adaptation des parcours pédagogique-ludiques a été pensé pour les enseignants et les formateurs et notamment pour répondre aux besoins qu'ils ont exprimés dans l'étude préliminaire présentée dans la section I du Chapitre 3. p.66. Une première sous-section présente les fonctionnalités d'affichage graphique des modèles *MoPPLiq*, elle est suivie par une sous-section qui détaille les fonctions de création et de modification des parcours. Dans les deux sous-sections qui suivent, le système de vérification des parcours *MoPPLiq* et de compensation des incohérences ludiques sont présentés. Les deux dernières sous-sections sont consacrées aux usages, en présentant les diagrammes de cas d'utilisation d'*APPLiq* et une méthodologie de création de parcours pédagogique-ludique dans cet outil auteur.

### I.1. Un affichage des parcours pédagogique-ludiques destiné aux enseignants



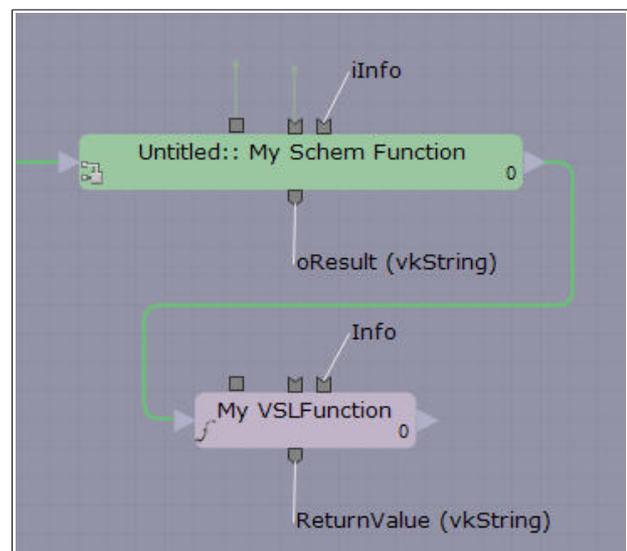
**Figure 34 :** Un extrait du parcours par défaut du prototype de jeux sérieux « Les Cristaux d'Éhère » (voir section IV.1.2 p.128)

Les représentations graphiques des modèles *MoPPLiq* proposées dans les sections précédentes (figures 22 p.78, 25 p.81, 27 p.83, 28 p.83, 33 p.94 Et dans la figure 34 ci-dessus) ont été générées par *APPLiq*.

Le but de cette représentation graphique est de proposer aux enseignants une lecture aisée de la modélisation des scénarios dans toute leur complexité notamment pédagogique, mais aussi ludique. Elle représente ainsi principalement le flux discret des activités (chacune étant identifiable), en montrant quels sont les différents chemins possibles pour les apprenants-joueurs. Au survol de la souris, ces informations sont enrichies par les détails de l'activité et les objectifs travaillés ou prérequis à chaque étape. La Figure 27 p.83 montre les informations obtenues au survol des états d'entrée et de sortie d'une activité. La Figure 35 ci-dessous montre les informations obtenues lors du survol de l'activité elle-même.



**Figure 35 :** Infobulle détaillant les informations sur une activité d'un parcours pédao-ludique



**Figure 36 :** Diagramme de flux dans le langage VSL utilisé par Virtools et 3D Via Studio. L'image est issue de la documentation de 3D Via Studio.

Cette représentation des graphes est fondée sur les représentations de type schémas blocs ou diagramme de flux [Dragicevic & Fekete, 2004] que l'on trouve dans les outils auteurs d'EIAH (ex. : *LAMS*), de jeux vidéo (ex. : *Unity*)

ou de jeux sérieux (ex. : *StoryTec*). Plus en détail, cette représentation utilisant des états d'entrées représentés par des chevrons, des états de sortie représentés par des pointes, des activités par des blocs et un flux du scénario matérialisé par des flèches et se lisant de gauche à droite, est directement inspirée des outils *Virtools* et *3DVIA Studio*<sup>38</sup> qui sont des outils auteurs de simulation en 3D et de jeux sérieux (voir la Figure 36). J'ai notamment choisi ce type de représentation, car il est fréquemment repris dans les outils auteurs professionnels de jeux vidéo comme *Unity*<sup>39</sup>, *Kismet*<sup>40</sup> ou *Cry Engine Sandbox*<sup>41</sup>.

## 1.2. Construire et modifier des parcours pédagogique-ludiques

---

Nous venons de le voir, *APPLiq* fournit aux enseignants une interface graphique capable d'afficher la représentation graphique de *MoPPLiq*. Mais, la fonctionnalité principale d'*APPLiq* est de permettre aux enseignants de déterminer l'ordre des activités en branchant, en fonction des besoins, les états de sortie et les états d'entrée. Pour permettre aux enseignants de rester concentrés sur leur objectif principal (tel que nous l'avons vu dans la section I du Chapitre 3. p.66), *APPLiq* fournit une interface orientée vers la manipulation des objectifs pédagogiques, en évitant de la surcharger par d'autres informations comme celles portant sur la jouabilité.

Par exemple, lorsqu'un enseignant veut créer un parcours, la recherche d'une nouvelle activité se fait grâce à l'indexation des objectifs pédagogiques travaillés, dans une interface qui n'affiche les informations ludiques de façon secondaire (voir la Figure 37 ci-dessous).

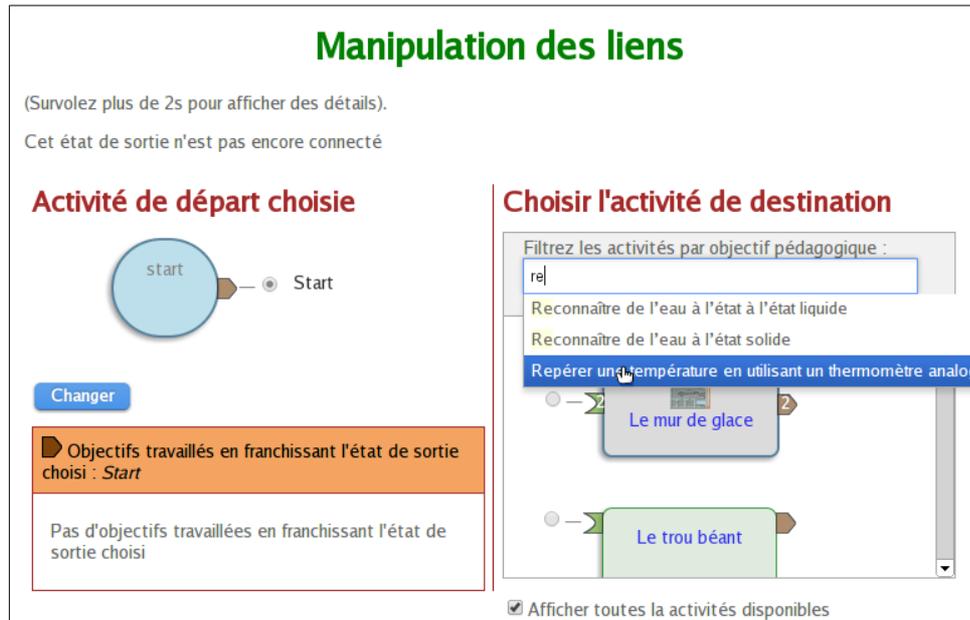
---

38 <http://www.3dvia.com/>

39 <http://unity3d.com/>

40 <http://udn.epicgames.com/Three/KismetHome.html>

41 <http://docs.cryengine.com/display/SDKDOC2/Home>

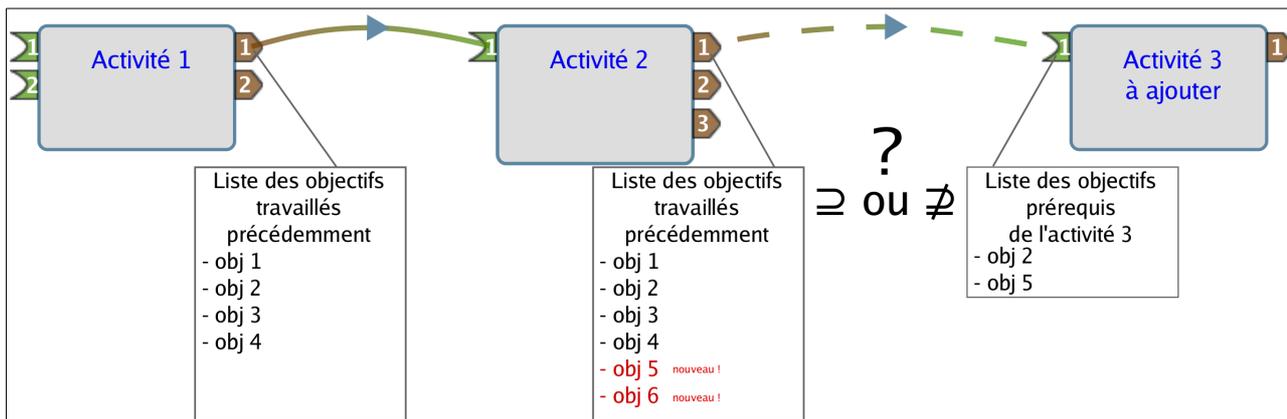


**Figure 37 :** Capture d'écran d'APPLiQ montrant le formulaire de recherche d'activités par objectifs pédagogiques pouvant être travaillés.

L'interface propose donc un système de filtrage par objectifs pédagogiques avec auto-complétion pour faciliter la recherche des activités qui conviennent. Elle propose aussi un affichage riche au moment du choix des activités (par ex. pour les connecter comme sur la Figure 40 p.107).

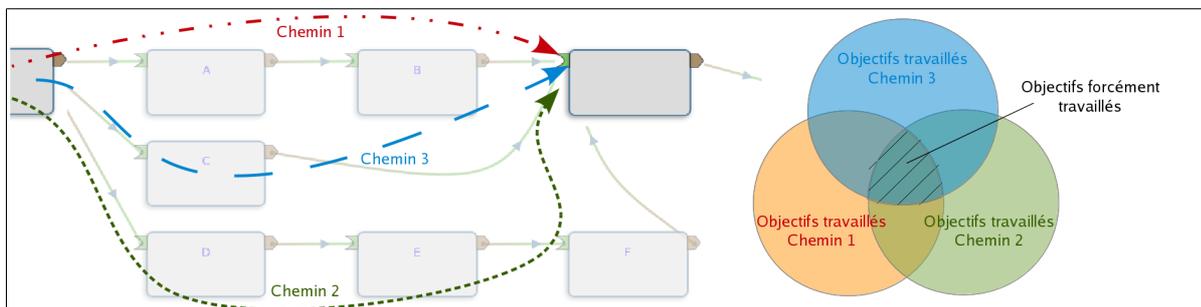
### 1.3. Assistance par la détection des incohérences

La manipulation de l'ordre des activités et de leur enchaînement par le branchement des états de sortie aux états d'entrée peut provoquer des incohérences, c'est-à-dire l'inadéquation entre au moins un prérequis d'un état d'entrée d'une activité et les objectifs qui peuvent être travaillés en passant par les états de sortie connectés dans les activités qui précèdent (Figure 38 ci-dessous). Compte tenu de la charge cognitive pour les enseignants utilisateurs d'APPLiQ que représente la construction d'un parcours pédagogique, il était nécessaire de doter le logiciel d'un système d'assistance à la détection des incohérences. Ce système schématisé sur la Figure 38 teste l'inclusion de l'ensemble des objectifs prérequis dans l'ensemble des objectifs qui pourraient être travaillés par l'apprenant-joueur dans le parcours qui précède.



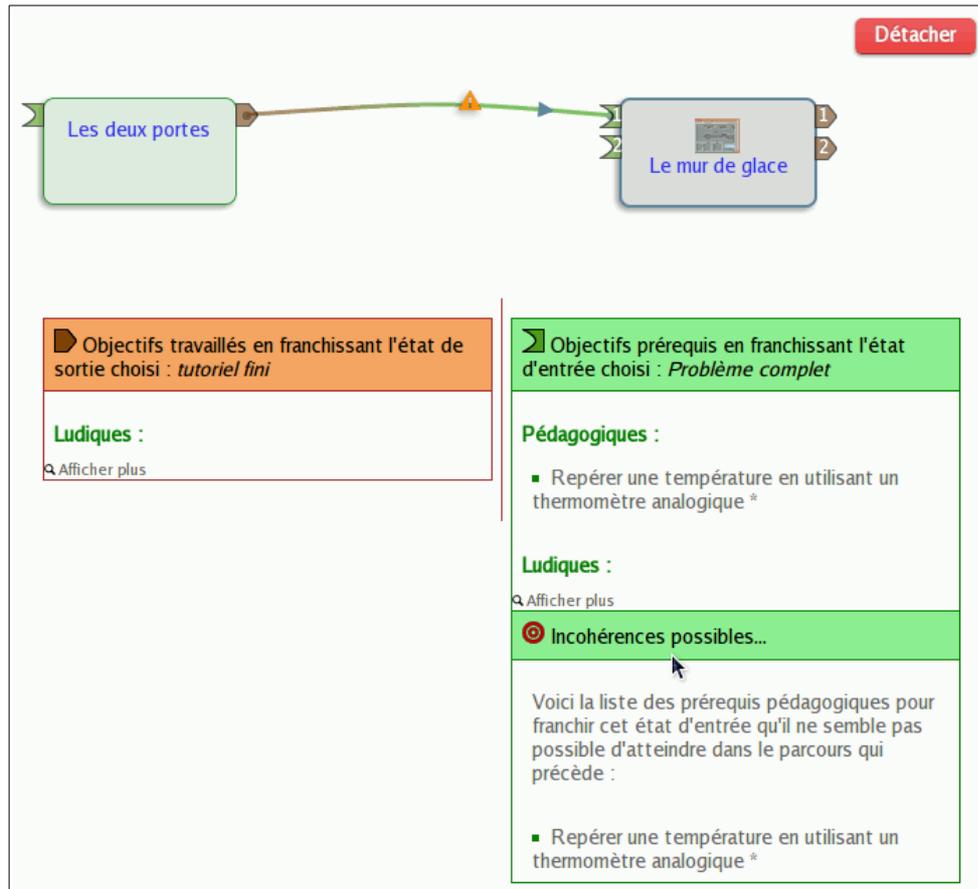
**Figure 38 :** Schéma de la vérification des prérequis lors de la connexion d'une activité dans APPLiQ : la liste des objectifs prérequis doit être incluse dans la liste des objectifs travaillés dans le parcours qui précède pour que la connexion ne pose pas de problème de cohérence.

Il s'agit donc de déterminer *a priori* l'ensemble des objectifs que l'on est sûr que l'apprenant-joueur aura travaillé avant d'arriver à l'état d'entrée considéré. Cela suppose donc de déterminer l'intersection des ensembles des objectifs travaillés pour chaque chemin éventuel qu'un apprenant-joueur pourra emprunter dans le parcours. La Figure 39 schématise la méthode de diagnostic des objectifs forcément travaillés dans un parcours pédagogique ludique utilisée par APPLiQ.



**Figure 39 :** Déterminer les objectifs qui ont sûrement été travaillés dans tous les chemins possibles de l'apprenant-joueur: c'est l'intersection de objectifs travaillés dans chacun des chemins possibles.

Par conséquent, lorsqu'une incohérence pédagogique est détectée par APPLiQ (c'est-à-dire qu'un objectif pédagogique prérequis a pu ne pas être travaillé dans les activités qui précèdent dans le parcours), APPLiQ émet une alerte (visible sur la Figure 40 ci-dessous), informant l'enseignant utilisateur de la présence de cette incohérence.



**Figure 40 :** Capture d'écran d'APPLiQ montrant l'affichage d'une incohérence pédagogique détectée lors de la connexion d'une nouvelle activité

APPLiQ laisse alors l'enseignant utilisateur libre de maintenir cette incohérence pédagogique ou de la corriger. En effet, j'ai choisi de ne pas créer de contrainte empêchant les enseignants de construire les parcours pédagogiques qu'ils souhaitent, y compris si APPLiQ y détecte des incohérences pédagogiques. Effectivement, ces enseignants peuvent avoir de bonnes raisons de construire des parcours qui semblent pédagogiquement « incohérents », car ces parcours peuvent trouver leur cohérence dans un contexte d'utilisation tel que l'enseignant pense que les apprenants ont déjà ces prérequis. Par exemple, dans le cadre d'une formation mixte (jeu sérieux accompagné d'une formation plus classique), en fonction de la présence d'un tuteur lors des sessions de jeu, en fonction des acquis antérieurs des apprenants, etc. Or, APPLiQ n'ayant pas connaissance du contexte d'enseignement appliqué aux parcours construits, le système ne doit pas contredire l'utilisateur sur cet aspect.

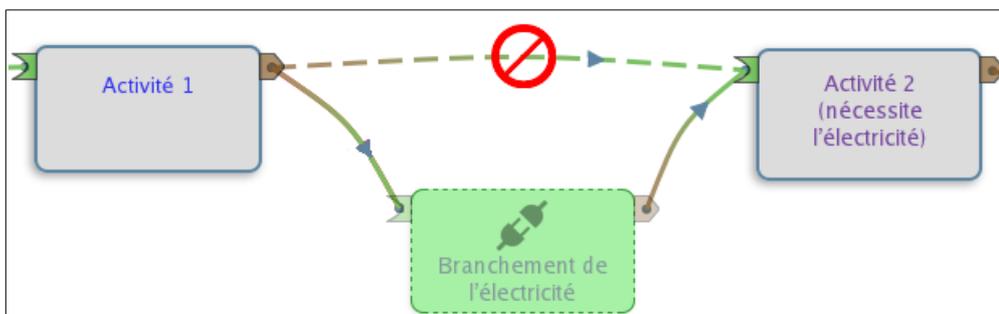
Ne pas brider les enseignants sur l'aspect pédagogique, et donc leur laisser une entière liberté de construction des parcours *pédagogiques* est une hypothèse forte que j'ai faite pour essayer de répondre au mieux aux besoins exprimés par les enseignants dans l'étude présentée en début de Chapitre 3. p.66. Toutefois, si a priori les enseignants sont des spécialistes de pédagogie, compétents pour construire des parcours pédagogiques, ils ne sont souvent pas

qualifiés pour construire des parcours *ludiques*. Et d'ailleurs, dans l'étude évoquée ci-avant, les participants nous ont indiqué ne pas vouloir gérer les aspects ludiques<sup>42</sup>. C'est pourquoi, *APPLiq*, va plus loin que la simple détection des incohérences pédagogiques en proposant un système de compensation des incohérences ludiques.

#### 1.4. Compensation automatique des incohérences ludiques avec les « activités tampon »

Les incohérences ludiques sont des incohérences qui sont exclusivement liées à l'inadéquation d'objectifs ludiques. Lorsqu'une telle incohérence est détectée par *APPLiq*, c'est le système qui prend automatiquement en main sa compensation grâce aux « **activités tampons** ».

Pour faciliter la compréhension de la méthode de compensation des incohérences ludiques choisie pour *APPLiq*, prenons un exemple. Supposons qu'un enseignant ait commencé à construire un parcours et qu'il souhaite y ajouter une autre activité dans laquelle il est prérequis que l'électricité soit branchée (Figure 41). Or, si dans le début de parcours conçu par l'enseignant il n'y a aucun moyen d'être sûr que l'apprenant-joueur a pu brancher l'électricité avant de commencer cette nouvelle activité, *APPLiq* signale qu'il détecte une incohérence ludique et que le parcours n'est pas jouable (l'activité ne peut pas être faite sans électricité).



**Figure 41** : Schéma du principe de l'activité tampon dans *APPLiq* : c'est une activité de compensation proposée pour apporter un prérequis qui n'aurait pu être obtenu dans les activités qui précèdent.

Comme les enseignants que nous avons interrogés ont déclaré ne pas vouloir s'occuper des questions ludiques<sup>3</sup>, *APPLiq* propose l'insertion automatique d'une (ou plusieurs) activité(s) tampon, qui dans notre exemple (Figure 41) permet le branchement de l'électricité. L'ajout de cette activité tampon permet de compenser automatiquement l'incohérence engendrée par les choix de connexion de l'enseignant, et de rendre le parcours pédago-ludique à nouveau jouable, et ce sans perturber ses choix pédagogiques (l'activité tampon n'a pas de valeur pédagogique).

Les *activités tampon* sont donc des activités de compensation qui doivent préexister pour qu'*APPLiq* puisse les proposer. Ces activités particulières se

42 Ces déclarations ont été relevées dans le cadre de l'étude présentée en début de Chapitre 2., section I p.66

caractérisent par l'absence de tout prérequis (pour pouvoir être placées n'importe où dans les parcours) et par le fait qu'elles ne permettent de travailler que des objectifs ludiques et pas d'objectifs pédagogiques. En effet, si elles permettaient de travailler des objectifs pédagogiques, leur placement automatique par *APPLiq* pour compenser les incohérences ludiques, pourrait perturber les choix pédagogiques des enseignants.

Le système des activités tampons est donc une contribution liée à *APPLiq* et qui propose de libérer les enseignants de la gestion des contraintes ludiques liées à la modification des enchaînements d'activités des jeux sérieux. En revanche, ce système provoque deux inconvénients. En premier lieu, il faut concevoir et réaliser suffisamment d'activités tampon pour pouvoir compenser tous les objectifs ludiques prérequis dans un jeu sérieux donné. Ce nombre peut-être réduit par le fait qu'une même activité tampon peut permettre de travailler plusieurs objectifs ludiques. La conception de ces activités est bien sûr une contrainte, car elle entraîne un travail de *leveldesign* supplémentaire pour que le jeu sérieux modifié contenant des incohérences soit automatiquement compensable par *APPLiq*. Toutefois, il ne s'agit pas d'*overdesign*, ce qui est fortement critiqué [Fischer & Herrmann, 2011], mais s'inscrit au contraire dans la démarche d'*underdesign* et de *meta-design* poursuivie avec *APPLiq*. La seconde contrainte est qu'un parcours personnalisé par un enseignant peut être sensiblement rallongé automatiquement par *APPLiq* à cause des activités tampons nécessaires à sa cohérence<sup>43</sup>.

Nous faisons toutefois l'hypothèse que soulager l'enseignant de la vérification et de la compensation des incohérences ludiques compense ces deux inconvénients.

## 1.5. Cas d'utilisation d'APPLiq

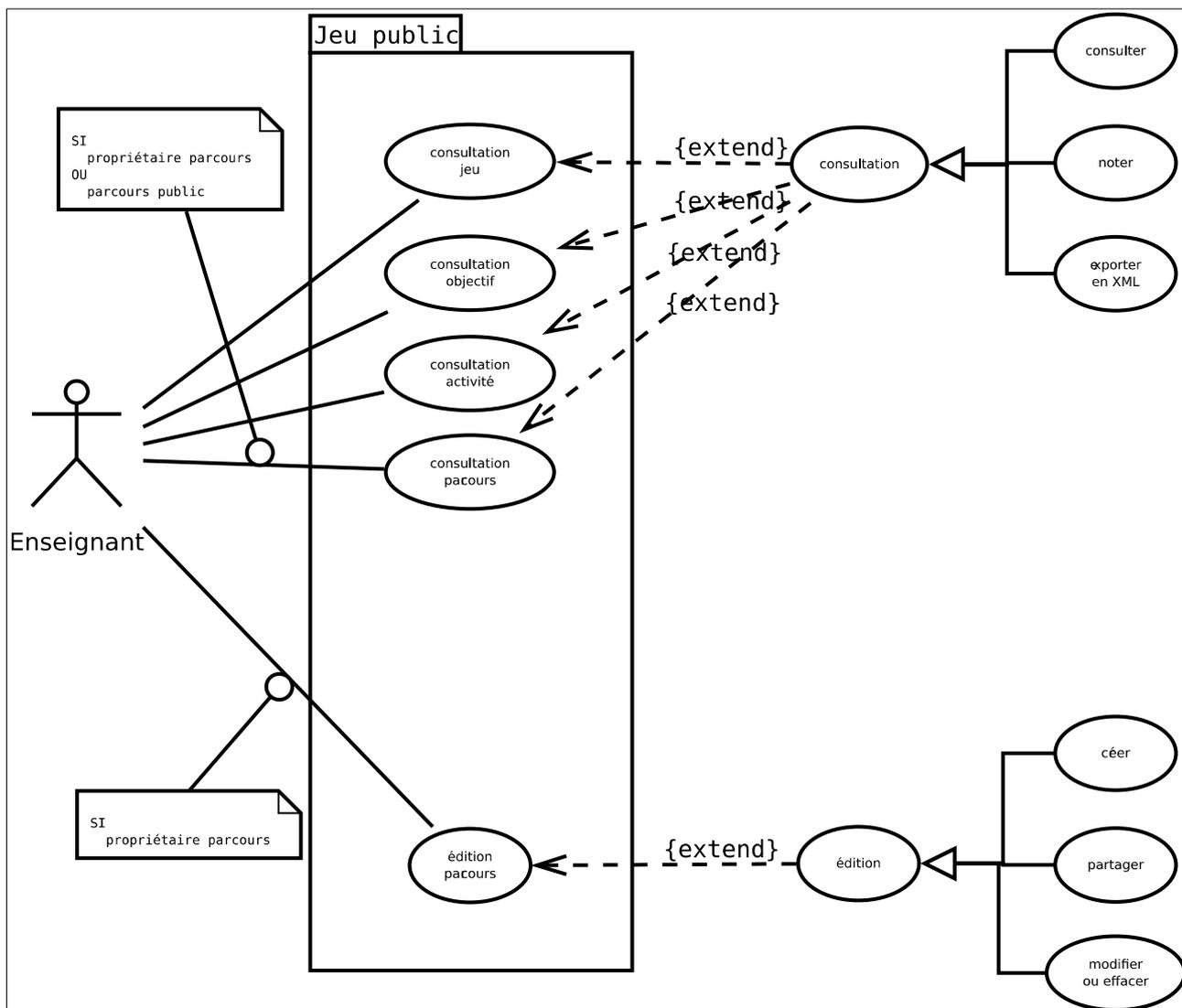
Dans *APPLiq*, trois types d'utilisateurs sont distingués : en premier lieu, les enseignants auxquels l'outil est principalement destiné, en second lieu, les concepteurs de jeux sérieux qui le décrivent pour qu'il soit accessible à la modification dans *APPLiq*. Enfin, les administrateurs qui sont gestionnaires des données. Conformément au diagramme entités-associations présenté Figure 30 p.86, *APPLiq* permet de manipuler six types de données (les « objets »). D'une part, les « activités » peuvent avoir plusieurs « états d'entrée » et « état de sortie » indexés par des « objectifs », et les « parcours » sont des ensembles de liaisons entre un état de sortie et un état d'entrée. D'autre part, les « jeux » auxquels appartiennent les cinq autres types d'objets (activités, états de sortie, états d'entrée, objectifs et parcours) désignent un jeu sérieux.

En fonction de leur statut, les utilisateurs ont accès à sept fonctionnalités sur ces objets : les consulter, les noter (« j'aime », seulement pour les jeux, les parcours et les activités), les partager (seulement les jeux et les parcours), les

<sup>43</sup> Voir à ce propos les éléments d'évaluation du système de compensation des incohérences d'*APPLiq* par les utilisateurs dans la section IV et notamment la sous-section IV.4.2 p.140.

exporter en XML au format *MoPPLiq* (seulement pour les jeux et les parcours), les créer/modifier, les importer (seulement les jeux, et aux formats *MoPPLiq*, *eAdventure*, *Legadee*).

Sachant que les jeux et les parcours ont des propriétaires et qu'ils peuvent être publics ou privés, les diagrammes de cas d'utilisation ci-dessous résument les possibilités offertes aux utilisateurs.



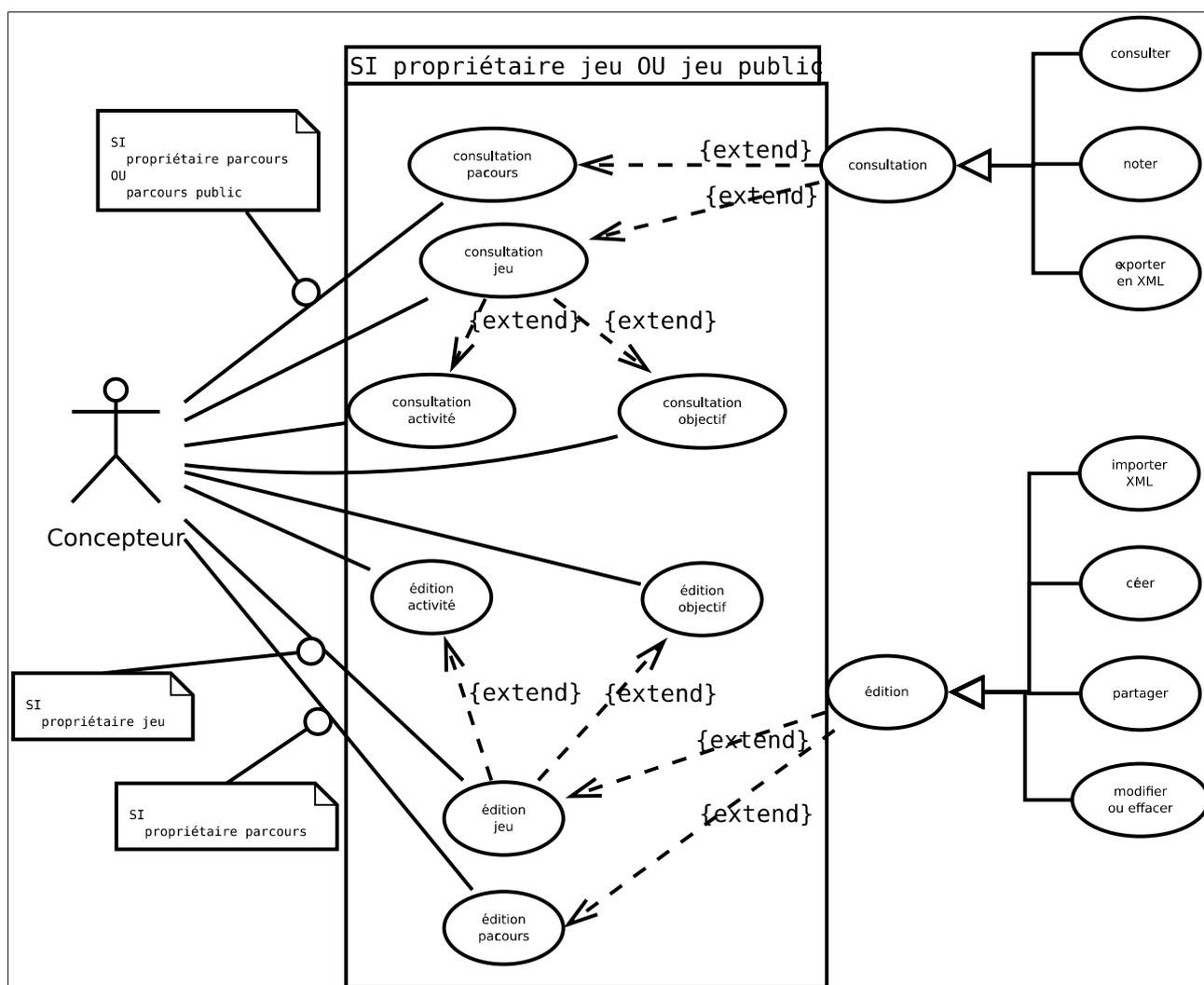
**Figure 42 :** Diagramme de cas d'utilisation d'APPLiq pour l'utilisateur « enseignant »

La Figure 42 ci-dessus présente le cas d'utilisation d'APPLiq par les enseignants. Les buts principaux d'APPLiq sont de permettre aux enseignants de consulter le scénario d'un jeu sérieux et de pouvoir en modifier le parcours pédao-ludique. Dans APPLiq, les enseignants peuvent donc consulter tous les éléments d'un jeu qui a été rendu public par ses concepteurs : les parcours proposés, les objectifs pédagogiques et ludiques travaillés et prérequis, les activités avec leurs états d'entrée et de sortie. D'autres fonctionnalités leur sont offertes comme d'exporter le XML *MoPPLiq* des parcours qui pourra être

réutilisé par le jeu sérieux, ou comme celle de noter (par un « j'aime ») leurs activités, parcours et jeux préférés.

Si les enseignants le désirent, ils peuvent créer un nouveau parcours (ou copier un parcours mis à disposition). Ils deviennent alors propriétaires de ce nouveau parcours ce qui leur ouvre la possibilité de nouvelles interactions : modifier le parcours (y compris sa suppression), le partager avec d'autres auteurs (mais *APPLiq* ne gère pas encore l'édition concurrentielle), ou rendre le parcours public, c'est-à-dire dire non modifiable, mais consultable par tous.

D'autres possibilités concernent les autres utilisateurs potentiels d'*APPLiq*. Si l'utilisateur administrateur a l'ensemble des droits sur les objets gérés par *APPLiq* (y compris les auteurs), l'utilisateur « concepteur de jeux sérieux » a des droits plus restreints (voir la Figure 43 ci-dessous).



**Figure 43 :** Diagramme de cas d'utilisation d'APPLiq pour l'utilisateur « concepteur de jeu sérieux »

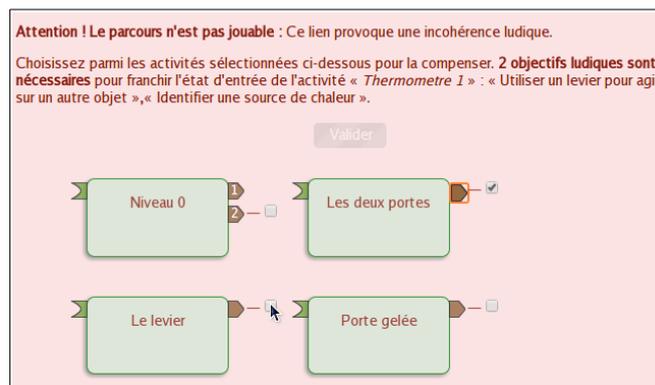
Ainsi, les droits du concepteur étendent ceux des enseignants en leur ouvrant la possibilité de créer des jeux et de modifier (à condition d'en avoir le droit) leurs éléments constitutifs (activités avec états d'entrée et de sortie, objectifs et

parcours). Il leur est aussi possible d'importer un jeu depuis un fichier XML au format *MoPPLiq* ou provenant des outils auteurs *eAdventure* et *Legadee*.

## 1.6. Scénario d'utilisation d'APPLiq et méthode de création de nouveaux parcours

L'interface d'*APPLiq* propose aux enseignants-utilisateurs plusieurs moyens de modifier des parcours pédo-ludiques. Cependant, elle a été conçue pour faciliter la méthode qui est décrite dans cette sous-section sous la forme d'un scénario d'utilisation.

La première étape est de créer ou de copier un parcours déjà existant (*a priori*, les parcours proposés dans *APPLiq* sont en consultation publique et ne peuvent donc pas être modifiés). Par la suite, l'utilisateur doit choisir le premier état de sortie à connecter (ex. : celui de *start*). Cela provoque l'ouverture d'une fenêtre modale permettant de choisir une activité et son état d'entrée, ce qui est facilité par le système de filtrage par objectifs pédagogiques (voir aussi la Figure 37 p.105). Dès que l'utilisateur a choisi l'état d'entrée qui lui convient, *APPLiq* vérifie la cohérence pédagogique de cette transition et affiche dans la fenêtre modale un récapitulatif des aspects pédagogiques de cet état d'entrée comprenant les incohérences pédagogiques éventuelles (l'affichage est alors comparable à ceux de la Figure 40 p.107 et de la Figure 47 p.117). L'enseignant utilisateur peut alors choisir de sélectionner cette transition ou de choisir un autre état d'entrée. Lorsqu'il valide la transition, *APPLiq* effectue une seconde vérification : celle de la cohérence ludique de la transition. Si une incohérence ludique est détectée, *APPLiq* propose, en fonction des activités tampon disponibles, une ou plusieurs solutions de compensation que l'utilisateur doit choisir.



**Figure 44 :** Capture d'écran des choix de compensation proposés par *MoPPLiq* lorsqu'il a détecté une incohérence ludique dans une transition

Une fois les incohérences compensées et la transition validée, l'utilisateur doit choisir une nouvelle activité et son état d'entrée. La Figure 45 synthétise ces étapes sous la forme d'un diagramme d'activité, où sont figurés les actions de

l'enseignant-utilisateur, les actions du système et quelques captures d'écran reprenant les figures présentées dans les sous-sections précédentes.

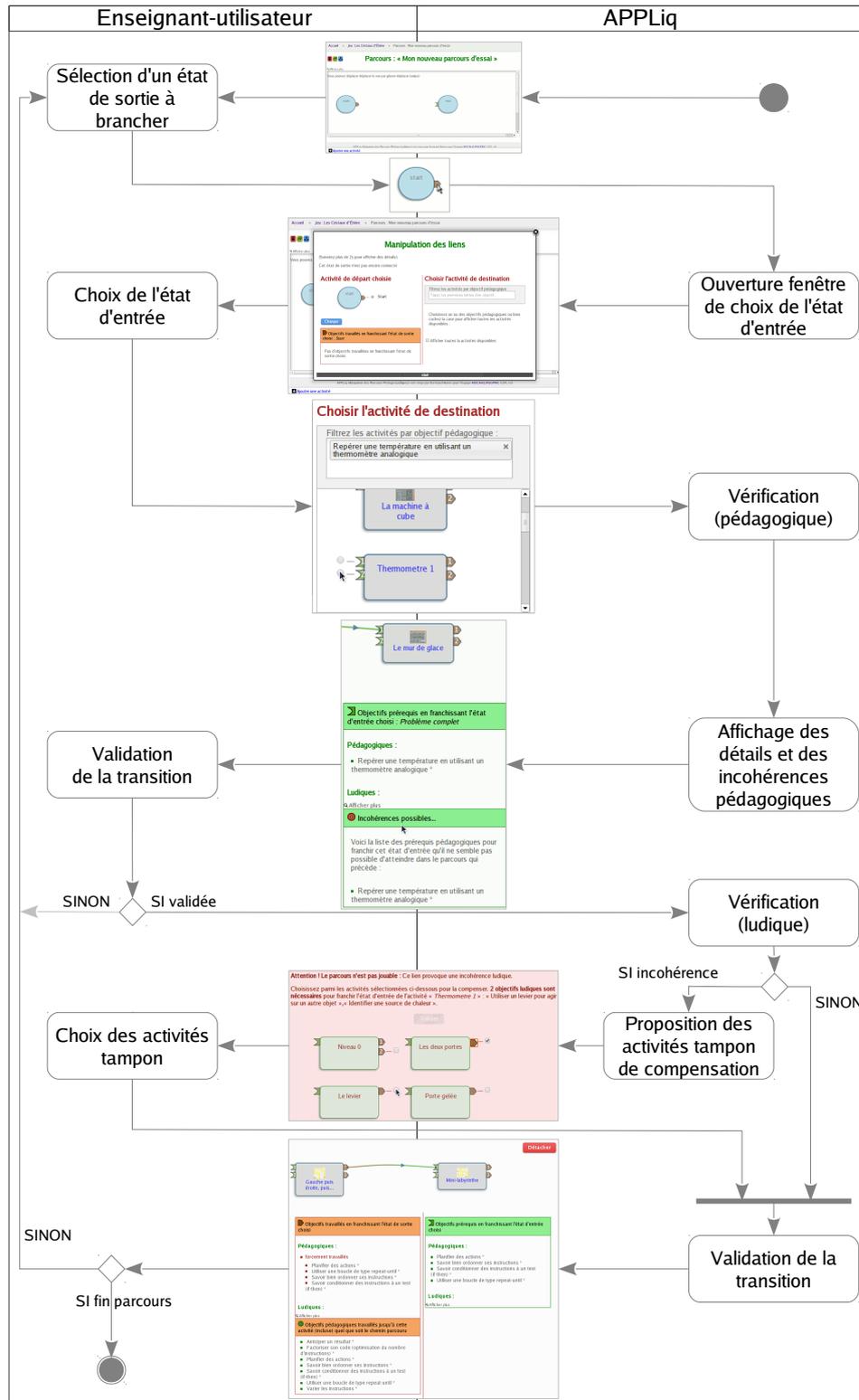


Figure 45 : Diagramme d'activité représentant la construction progressive d'un parcours par les connexions successives des états de sortie aux états d'entrée par les enseignants utilisateurs

---

## II. Architecture logicielle d'APPLiq

---

### II.1. Quelques choix d'implémentation pour APPLiq

---

Pour l'architecture et le développement d'APPLiq, les contraintes étaient de permettre : un prototypage rapide (car un développement itératif, de type « agile », centré utilisateur était visé), le déploiement rapide auprès d'utilisateurs des versions mises à jour, le partage de données entre utilisateurs (notamment pour permettre le partage des parcours et la mise à jour des jeux sérieux adaptables) et un fonctionnement sur la plupart des plateformes disponibles (*MS-Windows*, *Mac OS X*, *GNU/Linux*, mais aussi les plateformes mobiles, notamment sur les tablettes, etc.).

Le choix d'une application client léger/serveur s'est imposé pour permettre le déploiement, la mise à jour et les partages entre utilisateurs. Dans ce contexte, une application web semblait bien répondre à toutes ces contraintes. Une application web permet notamment, en fonctionnant dans le navigateur (ou à travers des plug-ins *Flash* ou *Java*), d'une part un déploiement rapide, y compris des mises à jour (faites sur le serveur), d'autre part un fonctionnement multiplateforme. J'ai écarté l'utilisation de *Java* ou de *Flash*, car ils nécessitent le développement d'une application client (applet) et d'une application serveur : dans le but d'un prototypage rapide et d'une portabilité maximale, je me suis plutôt orienté vers les technologies web « pures ». C'est-à-dire le trio (X)HTML/CSS/JavaScript.

Le prototype est donc développé en *PHP/MySQL*, par le biais de l'API du CMS<sup>44</sup> *SPIP 3*. L'utilisation d'un CMS comme *framework* de développement a permis, notamment grâce à son interface graphique de gestion des contenus, un prototypage plus rapide d'APPLiq et par conséquent de mettre très vite l'application entre les mains de testeurs potentiels (étudiants de Master 2 IFL<sup>45</sup> et IAD<sup>42</sup> de l'Université Pierre et Marie Curie). Pour que le schéma de base de données d'APPLiq soit le plus fidèle à la modélisation proposée dans le schéma entité-association présenté dans la section III.4.2 du Chapitre 3. p.86,

---

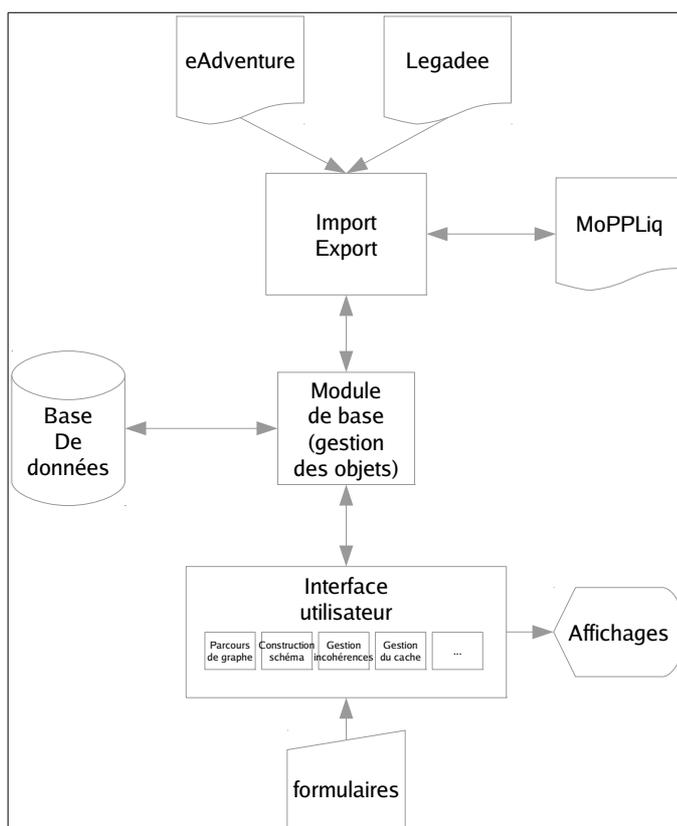
44 CMS : *Content Manager System*, c'est-à-dire système de gestion de contenus.

45 Le Master 2 dit « IFL » est une spécialité d'Ingénierie de la Formation en Ligne du Master de management de l'innovation proposé par l'UPMC.

le CMS choisi n'a pas été le plus populaire (*Drupal*<sup>46</sup>), car ses schémas de base de données sont assez particuliers. Le CMS choisi a été *SPIP*<sup>47</sup> qui se positionne depuis sa version 3 comme un *framework PHP* à part entière.

L'affichage de l'interface des prototypes d'*APPLiq* est produit en XHTML 1.0 strict et en SVG de façon à rester compatible avec tous les navigateurs récents. Les interactions sont gérées en partie en JavaScript, par le biais de scripts *jQuery* qui fonctionnent aussi avec la plupart de ces navigateurs.

Le prototype d'*APPLiq* est composé de trois modules schématisés sur la Figure 46 ci-dessous. Le module de base est chargé de la mise en place des API de gestion des « objets »<sup>48</sup> du modèle *MoPPLiq* dans la base de données (insertion, modification, suppression, liaison). Le second module est chargé des entrées-sorties en XML, c'est-à-dire de l'import depuis des fichiers issus de *eAdventure*, *Legadee* ou au format *MoPPLiq*, et l'export des jeux et parcours au format *MoPPLiq* qui pourront être utilisés par les jeux sérieux compatibles. Le troisième module est le plus complexe, c'est celui qui gère l'interface graphique avec les utilisateurs. Il se décompose en plusieurs sous-modules liés aux fonctionnalités décrites dans la section précédente p.102. La gestion du graphe d'un parcours qui est utilisée à la fois pour générer l'affichage et pour la détection et la compensation des incohérences ludiques, est décrite plus en détail dans la sous-section II.3 p.119.



**Figure 46 :** Schéma simplifié de l'architecture d'*APPLiq*

46 <https://drupal.org/>

47 <http://www.spip.net/>

48 Voir aussi les cas d'utilisation d'*APPLiq* présentés dans la section I.5 p.109.

## II.2. Quelques choix d'IHM pour APPLiq

---

Quelques hypothèses fondent la conception de l'Interface Homme Machine (IHM) d'*APPLiq*. En partant du fait que le but déclaré des enseignants que nous avons interrogés est de modifier la progression pédagogique dans les jeux sérieux<sup>49</sup>, j'ai choisi d'axer l'interface d'*APPLiq* sur la manipulation des objectifs pédagogiques. Plus précisément, en axant sa conception sur la capacité d'informer les enseignants-utilisateurs sur les aspects pédagogiques à chaque étape de leurs manipulations. *APPLiq* présente ainsi deux particularités d'IHM. La première est le fait de n'afficher les informations ludiques (objectifs prérequis et travaillés) qu'en option, sauf lorsque c'est indispensable, par exemple pour valider les activités tampon sélectionnées automatiquement par *APPLiq* (Figure 44 p.112).

---

49 Il s'agit de souhaits fréquemment relevés dans les déclarations des enseignants faites au cours de l'étude qui est présentée en début du Chapitre 3., section I p.66

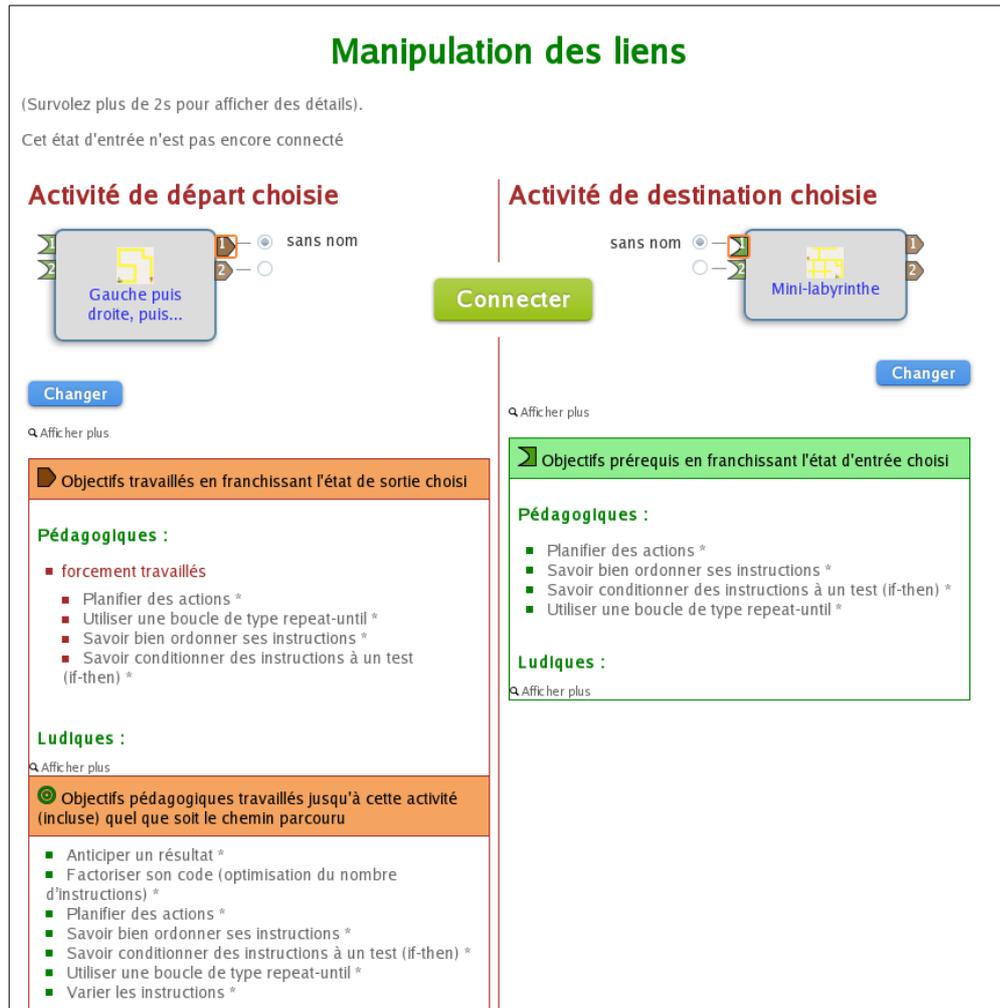


Figure 47 : Capture d'écran d'APPLiq montrant la fenêtre modale contenant le formulaire de connexion d'activités dans un parcours du jeu sérieux Blockly Maze (voir section IV.1.3 p.129). On y voit une interface riche en informations. Néanmoins, les informations ludiques y sont masquées et affichables en cliquant sur « Afficher plus » (détails sur l'activité, dont sa capture d'écran, et liste des objectifs ludiques prérequis et travaillés).

La Figure 47 est une capture d'écran de l'interface de connexion des activités qui montre que seules les informations pédagogiques sont affichées, les informations ludiques ne s'affichent qu'après un clic (« Afficher plus »). Le but de cet allégement est d'éviter la surcharge cognitive de l'utilisateur, sachant que l'interface est déjà très riche, notamment en informations pédagogiques. En effet, cette richesse pédagogique se justifie par la nécessité de permettre aux enseignants-utilisateurs de faire leurs modifications, et donc leur progression pédagogique, en pleine connaissance de cause.

La seconde particularité de l'IHM d'APPLiq qui est liée à la nécessité de fournir aux enseignants une interface riche pédagogiquement est d'avoir choisi une interface de manipulation indirecte fondée sur des formulaires (comme sur la Figure 47 ci-dessus) plutôt qu'une interface de manipulation directe (type glisser-déposer). L'intérêt du passage par les formulaires est de proposer à chaque opération de l'enseignant-utilisateur l'ensemble des informations

pédagogiques qui lui sont utiles pour prendre ses décisions. Prenons deux exemples : La Figure 37 p.105 qui montre le formulaire de sélection d'une activité grâce aux objectifs pédagogiques travaillés qui ont été sélectionnés, et la Figure 47 ci-dessus qui montre les informations affichées avant la validation de la connexion de deux activités. Dans ces deux exemples, l'enseignant-utilisateur a à sa disposition l'ensemble des informations sur les objectifs pédagogiques travaillés (dans l'activité, mais aussi dans l'ensemble du parcours qui précède) et éventuellement prérequis. Toutefois, si ces interfaces peuvent être ergonomiques, elles sont souvent peu intuitives, et présentent moins d'attrait que les interfaces à manipulation directes [Beaudouin-Lafon, 2000]. Cet aspect est remis en cause par l'évaluation d'APPLiq détaillée dans la section IV p.126.

L'une des conséquences de ces choix d'IHM est qu'il a été nécessaire de faire produire automatiquement à *APPLiq* une représentation du graphe *MoPPLiq* des parcours péda-go-ludiques la plus claire possible. En effet, comme ce ne sont pas les enseignants-utilisateurs qui positionnent les activités (par glisser-déposer) sur l'espace de travail, mais qu'ils procèdent aux connexions par le biais de formulaires, il est indispensable de générer un affichage du graphe clair et lisible. La solution fréquemment utilisée de la construction des graphes par répulsion (gravité) [Fruchterman & Reingold, 1991] a été écartée au profit d'une construction en arbre plus classique (*rooted tree*) [Battista et al., 1994] pour permettre à cette représentation d'être plus stable dans le temps, au fil des affichages. Pour clarifier le graphe, les transitions sont courbées avec une heuristique qui dépend de la distance entre les activités, et dotées d'un dégradé de couleur qui complète la présence d'une flèche dans le but de faciliter la compréhension du sens de lecture (des états de sortie bruns vers les états d'entrée verts), notamment dans les cas de croisements.

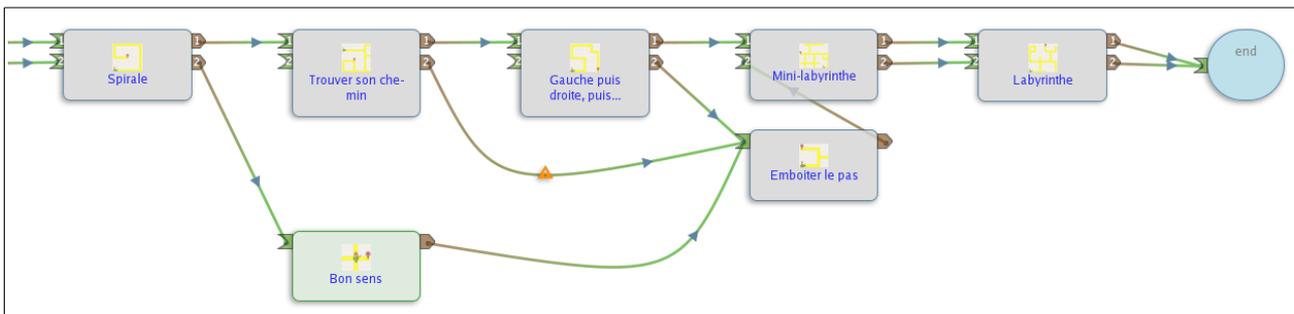


Figure 48 : Capture d'écran d'APPLiq montrant un extrait d'un des parcours péda-go-ludiques du jeu sérieux *Blockly Maze* (voir section IV.1.3 p.129).

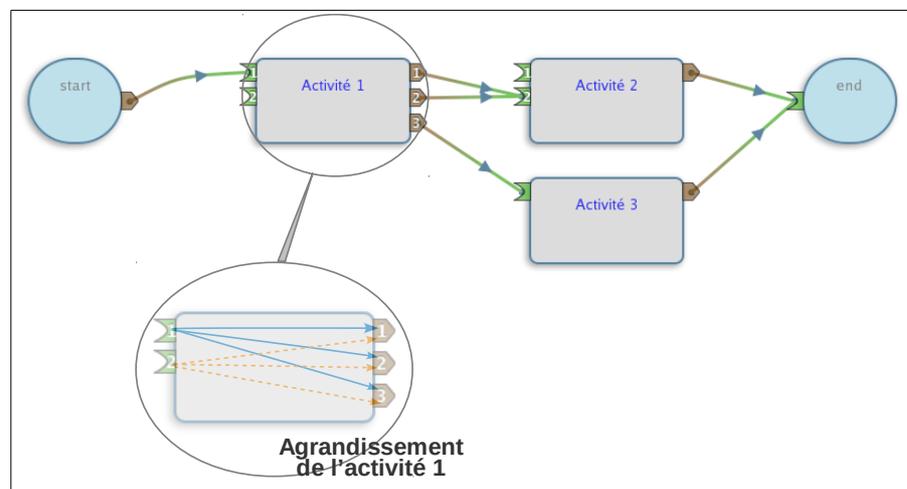
Comme d'autres figures montrées précédemment et représentant des parcours générés par *APPLiq* (p. 83, 94, 102), la Figure 48 montre différents types de transitions. Elle montre aussi que les activités tampon sont distinguées visuellement des activités normales (couleur et épaisseur de la bordure) et que les incohérences détectées sont aussi figurées sur les transitions (ici, une incohérence pédagogique, représentée par une icône figurant un panneau d'avertissement).

Cette représentation graphique est générée grâce à l'algorithme de parcours de graphe d'*APPLiq* spécialement conçu pour *MoPPLiq*. Cet algorithme est décrit dans la sous-section suivante.

## II.3. Particularités du parcours d'un graphe MoPPLiq

### II.3.1. Le graphe de MoPPLiq

Le graphe de *MoPPLiq* est un graphe orienté aux nœuds asymétriques. Plus complexe que sa représentation graphique ne le suggère, le graphe de *MoPPLiq* comporte deux types de nœuds différents : les états de sorties et les états d'entrées, les activités n'étant, comme le montre le modèle entité-association (Figure 30 p.86) que des références pour lier certains états de sorties et certains états d'entrées, à l'instar des transitions des parcours.



**Figure 49 :** Modèle d'un parcours fictif montrant les deux types de nœuds asymétriques présents dans un graphe MoPPLiq : les **états d'entrée** et de **sortie**, qui ont aussi des transitions à l'intérieur des activités (voir l'agrandissement de l'activité 1).

La Figure 49 ci-dessus montre ce que la représentation graphique de MoPPLiq dissimule : les transitions qui existent entre les états d'entrée et de sortie référencés par une même activité. Si les connexions entre les deux types de nœuds ont une cardinalité multiple pour ce qui est des transitions au sein d'une même activité, ces cardinalités diffèrent pour ce qui est des transitions hors des activités. En effet, les états d'entrée peuvent recevoir  $n$  transitions, alors que des états de sortie ne peuvent partir qu'une seule transition (voir aussi le diagramme entité-association Figure 30 p.86). Il s'agit d'une des caractéristiques qui rend les parcours possibles des instances de graphes *MoPPLiq* sans explosion combinatoire.

Par ailleurs, la représentation graphique de *MoPPLiq* n'est pas seulement un arbre, mais bien un graphe comme le montrent plusieurs exemples déjà présentés (voir les figures 28 p.83, 33 p.94 et 34 p.102).

L'ensemble de ces caractéristiques a conduit à la mise en place d'un algorithme de parcours de graphe spécifique pour *APPLiQ*.

### II.3.2. Algorithme de parcours de graphe

Compte tenu de la structure du graphe de *MoPPLiQ*, il a été nécessaire de concevoir un algorithme de parcours de graphe particulier. L'organigramme de la Figure 50 ci-dessous détaille cet algorithme récursif tel qu'il est implémenté dans *APPLiQ*.

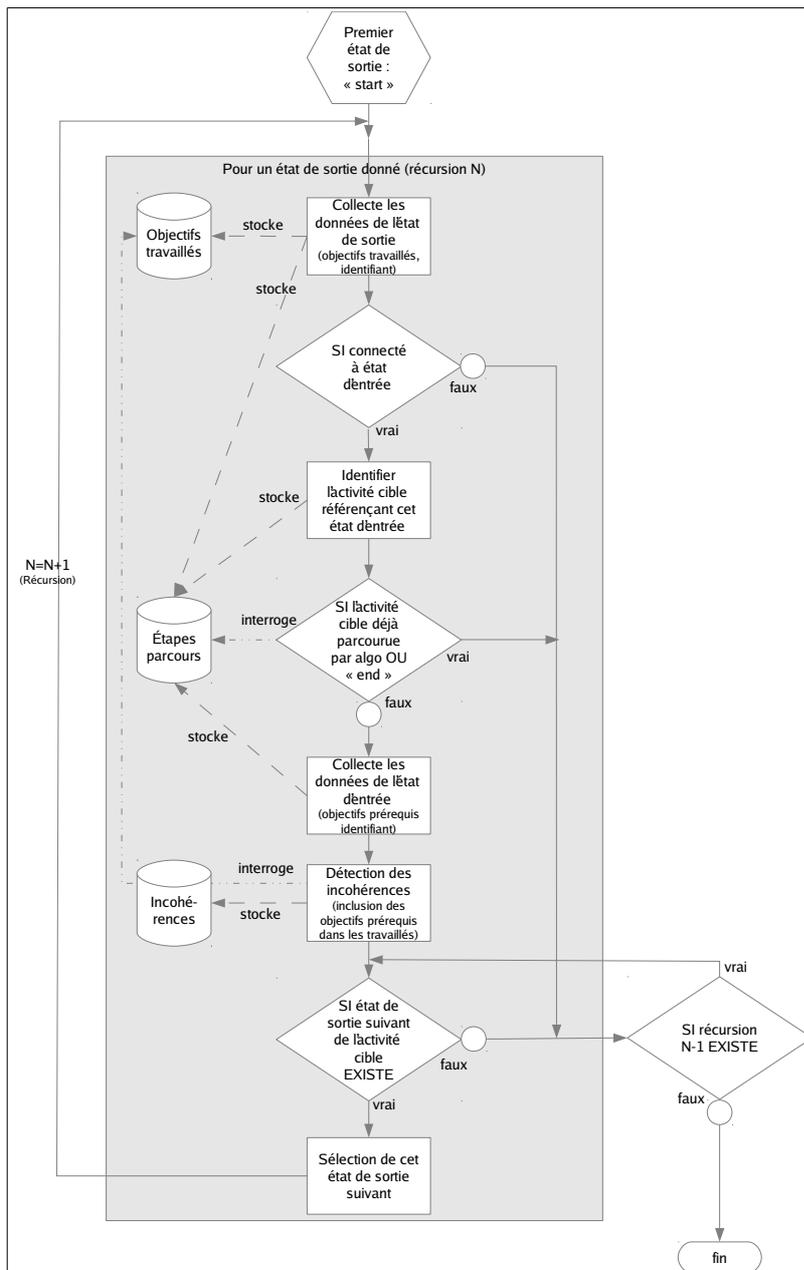


Figure 50 : Organigramme de l'algorithme de parcours de graphe utilisé dans *APPLiQ*

La zone grisée représente la fonction récursive qui est initialisée par la sélection d'un état de sortie (les transitions se font d'un état de sortie vers un état d'entrée, voir aussi le diagramme entité-association Figure 30 p.86). Lors de l'exécution de cette fonction, les informations sur les objectifs travaillés, sur le parcours lui-même et sur les incohérences sont récupérées et calculées puis stockées pour être utilisées dans plusieurs fonctionnalités d'*APPLiq* : l'affichage du graphe, la détection et la compensation des incohérences. Puis, la connexion éventuelle de l'état de sortie avec un état d'entrée est testée, et il existe trois cas dans lesquels ces tests conduisent à remonter d'un pas dans la récursion (ou à terminer le parcours du graphe si le système est au premier pas de la récursion). Ces trois cas sont : lorsque l'état de sortie n'est pas branché, lorsque l'état de sortie est branché à l'état d'entrée de « *end* » (fin du parcours pédaogo-ludique), et lorsque l'état de sortie est branché à un état d'entrée d'une activité déjà parcourue précédemment. Ce dernier cas vise à éviter les récursions infinies lorsqu'il existe une boucle dans le graphe. Si la fonction récursive n'est pas interrompue par l'un de ces trois cas, les traitements continuent pour déterminer quelle est la liste des états de sortie de l'activité suivante dans le parcours. C'est-à-dire, celle dont l'un des états d'entrée est branché à l'état de sortie qui a initialisé la récursion courante. Ensuite, chacun des états de sortie de cette activité suivante sera traité par la fonction récursive.

L'algorithme présenté dans la Figure 50 ci-dessus fait abstraction des traitements opérés pour stocker les objectifs travaillés et pour diagnostiquer les incohérences. Il faut cependant noter qu'afin de faire un diagnostic conforme à celui présenté dans la Figure 39 p.106, il a été nécessaire de stocker les objectifs travaillés chemin par chemin. Un « chemin » étant l'une des possibilités de parcours, pour un apprenant-joueur donné, dans un scénario d'un jeu sérieux.

---

## ***III. Implémentation du modèle MoPPLiq dans les jeux sérieux à étapes***

---

Pour que les parcours pédao-ludiques conçus ou adaptés par les enseignants avec *APPLiq* puissent être utilisés dans les jeux sérieux, il faut aussi implémenter le modèle *MoPPLiq* dans les jeux sérieux eux-mêmes. Avec l'équipe MOCAH, nous avons travaillé sur plusieurs prototypes de jeux sérieux pour concevoir cette implémentation (voir aussi dans la section suivante le IV.1 p.126), et avons abouti à deux façons de faire. Ces deux implémentations permettent aux jeux sérieux d'intégrer les adaptations opérées par les enseignants dans leur système de décision chargé de la gestion du scénario et donc de l'enchaînement des activités. Pour cela, ces deux implémentations ont en commun d'embarquer le fichier au format XML de *MoPPLiq* (issu de l'export d'*APPLiq*) décrivant le jeu sérieux et ses parcours, et à partir duquel sont tirées les informations qui vont informer les décisions d'enchaînement d'activités. Cela peut se faire de deux façons différentes : soit en prenant en compte tous les éléments du modèle *MoPPLiq*, soit en ne prenant en compte que les états d'entrée et de sortie et en faisant abstraction des objectifs pédagogiques et ludiques.

### **III.1. Implémentation de « bas niveau »**

---

Quand un jeu sérieux implémente dans son modèle de scénarisation tous les éléments du modèle *MoPPLiq*, nous qualifions cette implémentation de « *bas niveau* ». Dans les sous-sections qui suivent, nous verrons comment faire cette implémentation : le premier aspect concerne l'inscription éventuelle des objectifs travaillés dans le modèle de l'apprenant-joueur, ce que nous appelons « *gratification* ». Le second aspect est la façon de déterminer à partir des objectifs gratifiés l'état de sortie utilisé. Enfin, le dernier aspect est la décision de l'état d'entrée qui suivra à partir du modèle de l'apprenant-joueur.

### **III.1.1. Gratification des objectifs travaillés dans une activité**

La gratification a pour but de déterminer quels sont les objectifs qui ont vraiment été travaillés parmi les objectifs qui le sont potentiellement.

Pour que la gratification puisse se faire, il est nécessaire que le jeu sérieux implémente des systèmes de suivi de l'apprenant-joueur, capables de décider en fonction de ses actions si les objectifs sont considérés comme travaillés ou non. Ces systèmes doivent donc être élaborés avec des experts pédagogiques et du domaine. Au fur et à mesure, ou à la fin de l'activité, ces systèmes construisent la liste des objectifs gratifiés qui seront ensuite utilisés pour déterminer l'état de sortie emprunté par l'apprenant-joueur.

### **III.1.2. Détermination de l'état de sortie en fonction des objectifs gratifiés**

Pour qu'un jeu sérieux puisse utiliser un scénario défini au format *MoPPLiq*, il faut qu'il embarque un système de décision capable de choisir l'état de sortie emprunté par l'apprenant-joueur à la fin d'une activité. Ce système peut utiliser plusieurs indicateurs pour faire ce choix. Par exemple, la porte utilisée, la réponse donnée, le score. Dans une implémentation « bas niveau » de *MoPPLiq*, la liste des objectifs travaillés par l'apprenant-joueur fait partie de ces indicateurs. En comparant la liste des objectifs gratifiés à l'apprenant avec celle des objectifs qui sont travaillés dans chaque état de sortie, il est possible de choisir l'état de sortie emprunté. Cet indicateur peut suffire ou s'ajouter à d'autres observables, selon les cas.

### **III.1.3. Détermination de l'état d'entrée suivant**

Un second système de décision est nécessaire pour implémenter un modèle *MoPPLiq* dans un jeu sérieux. Son rôle est de déterminer quel est l'état d'entrée suivant en fonction de l'état de sortie emprunté. Ce système s'appuie donc sur la description des transitions fournies par le parcours péda-go-ludique défini dans le fichier *MoPPLiq*. Pour parfaire une implémentation de « bas niveau », il faut que ce système assure une vérification de la correspondance entre les prérequis ludiques de l'état d'entrée et les objectifs gratifiés, c'est-à-dire inscrits au fur et à mesure dans le modèle de l'apprenant-joueur. En effet, l'activité pourrait s'avérer injouable si les prérequis ludiques n'ont pas été gratifiés. Dans l'une de nos implémentations (voir la Figure 51 ci-dessous), nous allons même plus loin : seule l'activité suivante est consultée dans le fichier *MoPPLiq* et ce sont les objectifs gratifiés (présents dans le modèle de l'apprenant-joueur) qui servent à déterminer l'état d'entrée adéquat de l'activité.

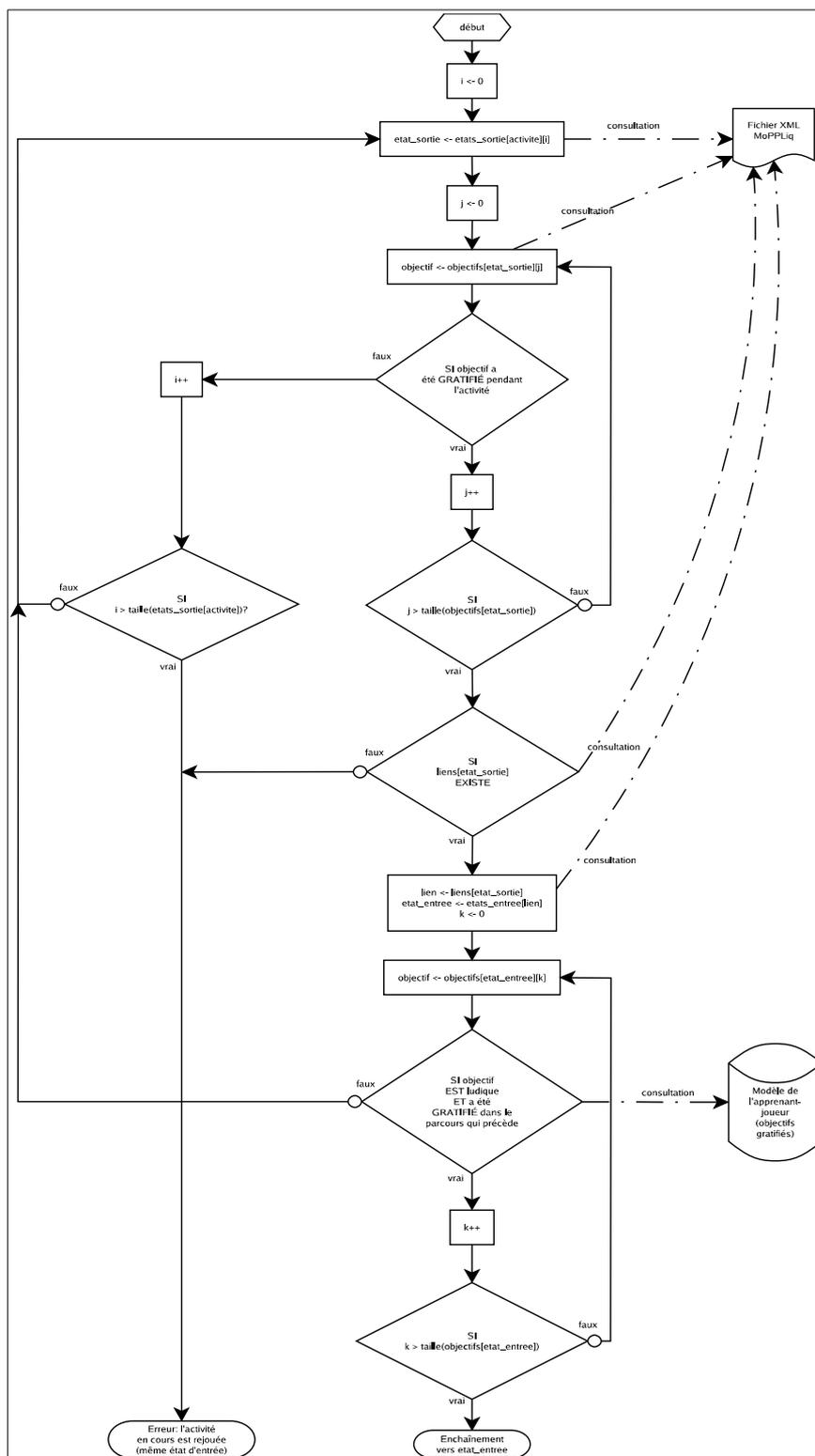


Figure 51 : Organigramme de l’algorithme de l’implémentation du modèle MoPPLiq dans le jeu sérieux Les Cristaux d’Éhère (voir la section IV.1.2 p.128). Il s’agit d’un exemple d’implémentation de bas niveau.

La Figure 51 montre que cette implémentation de bas niveau est assez complexe et ne peut se faire que sur un jeu sérieux qui possède un système de

suivi permettant de gratifier les objectifs travaillés. Pour adapter les jeux sérieux existants ou pour implémenter *MoPPLiq* dans des jeux sérieux qui n'intègrent pas de système de suivi, il est possible d'opter pour une implémentation de « *haut niveau* ».

### III.2. Implémentation de « haut niveau »

---

Quand un jeu sérieux n'implémente dans son modèle de scénarisation qu'une partie des éléments du modèle *MoPPLiq*, et donc qu'il propose une abstraction des autres, nous qualifions cette implémentation de « *haut niveau* ». Il s'agit de l'implémentation la plus simple à mettre en œuvre. Elle comporte deux étapes, qui correspondent, comme pour l'implémentation de « bas niveau », aux deux systèmes de décision nécessaires pour *MoPPLiq* : un système de décision pour déterminer l'état de sortie de l'activité, et un système de décision pour en déduire l'état d'entrée suivant.

Dans ce cas, il n'est pas nécessaire pour ces systèmes d'avoir connaissance des objectifs travaillés, ils peuvent s'appuyer uniquement sur des indicateurs internes du jeu sérieux pour déterminer l'état de sortie adéquat. L'état d'entrée suivant est tout simplement déduit en lisant le fichier *MoPPLiq* qui décrit les connexions entre états de sortie et états d'entrée. Dans ce type d'implémentation, les deux systèmes de décision du jeu sérieux ne font pas de vérification pour tester si l'activité suivante pourra être jouable. Il ne faut donc pas l'utiliser avec des parcours invalides du point de vue ludique.

L'emploi de cette méthode d'implémentation de haut niveau a permis d'adapter le jeu sérieux *Blockly Maze* de Google afin qu'il puisse utiliser un modèle *MoPPLiq* et que son parcours péda-go-ludique puisse être modifié grâce à *APPLiq* (voir aussi la section IV.1.3 p.129). Ce jeu sérieux, tout comme *Les Cristaux d'Éhère* dont il était question à propos de l'implémentation de bas niveau, a été utilisé pour mettre à l'épreuve *APPLiq* auprès d'utilisateurs, comme nous le verrons dans la section suivante.

---

## ***IV. Mise à l'épreuve d'APPLiq***

---

*MoPPLiq* et *APPLiq* sont deux contributions à la problématique du *meta-design* des jeux sérieux par les enseignants-utilisateurs. Plus précisément, *MoPPLiq* est une contribution à la définition de modèles capables de décrire la scénarisation pédago-ludique des jeux sérieux à étapes, et ce dans le but d'en faciliter l'instrumentation par les enseignants, mais aussi de fonder un outil auteur d'adaptation. L'outil auteur *APPLiq* est la contribution aux questionnements sur les moyens d'outiller les enseignants pour instrumentaliser les jeux sérieux, sans altérer leur cohérence ludique.

L'expérimentation décrite dans cette section cherche à informer la conception de ces deux contributions, en les mettant à l'épreuve auprès des utilisateurs qu'elles visent.

Sa mise en place a d'abord nécessité la conception et la réalisation de jeux sérieux capables d'être adaptés avec *APPLiq* et qui sont présentés dans une première sous-section. Puis, la deuxième sous-section présente les indicateurs définis pour tester *APPLiq* et *MoPPLiq*. Enfin, les dernières sous-sections présentent le protocole de l'expérimentation et ses résultats accompagnés de leur discussion.

### **IV.1. Des jeux sérieux pour mettre à l'épreuve APPLiq et MoPPLiq**

Afin de disposer de jeux sérieux adaptables avec *APPLiq*, des étudiants, dans le cadre de projets et de stages de Master, et moi-même avons lancé de nombreux projets de jeux sérieux. Deux d'entre-eux ont atteint le stade de prototypes avancés, utilisables avec des élèves et sont décrits dans les sous-sections qui suivent. La troisième sous-section présente un jeu sérieux déjà existant qui a été modifié pour être adaptable avec *APPLiq*.

### IV.1.1. Jeu sérieux « Défenses Immunitaires »



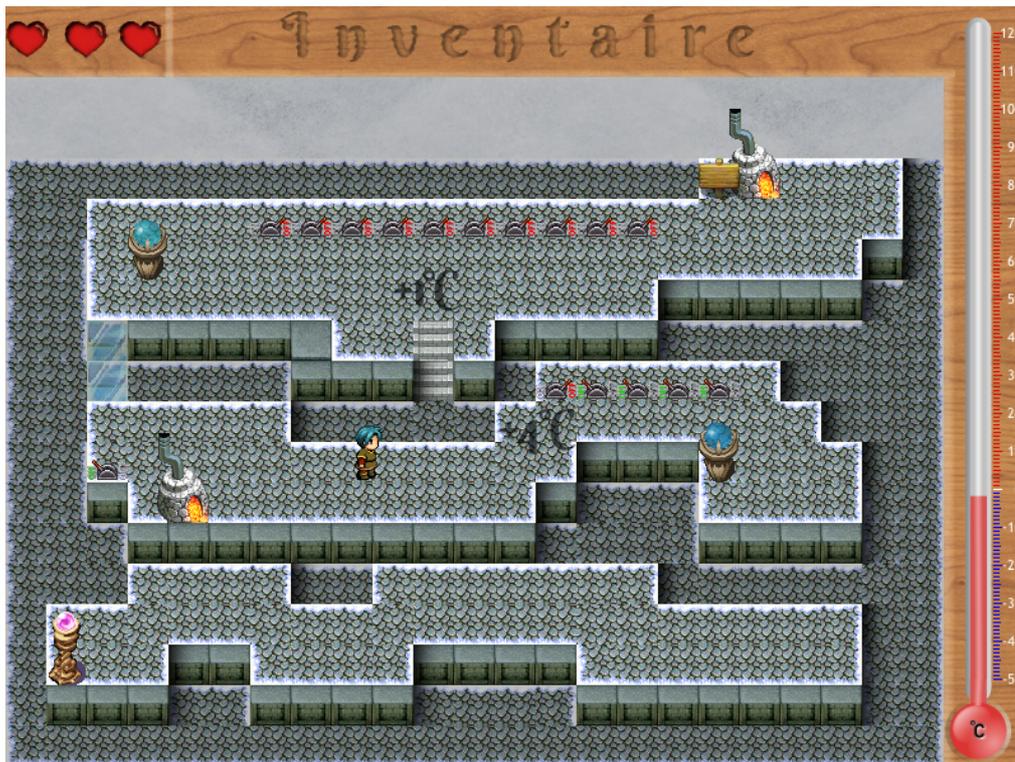
**Figure 52 :** Capture d'écran du prototype du jeu sérieux « Défenses Immunitaires » utilisé pour tester MoPPLiq et pour évaluer les besoins des enseignants.

Le jeu sérieux « Défenses Immunitaires » est le premier qui ait été mis en chantier, et ce fut avec l'aide de deux étudiants ingénieurs (Ahmed Youcef Zemirline et Lotfi Meziani) de l'École Nationale Supérieure d'Informatique (ESI) d'Alger dans le cadre de leur projet de fin d'études que j'ai co-encadré avec Nabila Bousbia (Enseignante-Chercheur à l'ESI). Le *gamedesign* que j'avais conçu dans le cadre de mon Master 2 [Marne, 2010] y a été implémenté librement par les étudiants sous forme d'un jeu de stratégie en temps réel proche du type *Tower Defense*. L'annexe III p.174 présente une description détaillée de ce jeu sérieux au travers des 6 facettes.

Ce prototype de *Défenses Immunitaires* est jouable en ligne : [http://seriousgames.lip6.fr/Defenses\\_Immunitaires/](http://seriousgames.lip6.fr/Defenses_Immunitaires/)

Néanmoins, ce prototype s'est montré inadapté pour tester *APPLiq*, en raison de sa scénarisation linéaire. Toutefois, il a servi à deux reprises dans ces travaux de thèse : il est l'un des jeux sérieux modélisés pour tester *MoPPLiq* (voir p.88), et il a été l'un des supports de l'étude exploratoire sur les besoins des enseignants présentée dans le Chapitre 3. p.66.

### IV.1.2. Jeu sérieux « Les Cristaux d'Éhère »



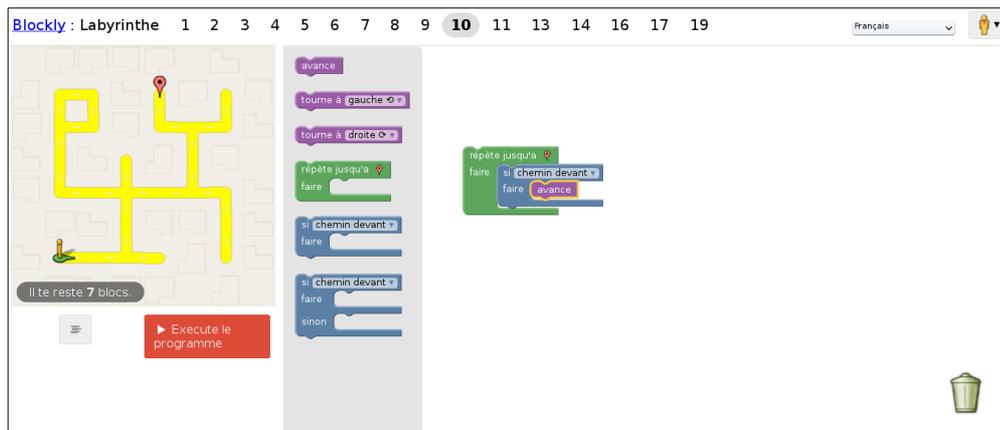
**Figure 53 :** Capture d'écran du prototype du jeu sérieux « Les Cristaux d'Éhère » qui a été utilisé pour mettre à l'épreuve APPLiq.

Le jeu sérieux « Les Cristaux d'Éhère » est né d'une convergence de plusieurs besoins de l'équipe MOCAH. En premier lieu, l'équipe MOCAH voulait disposer d'un jeu réalisé avec le *framework Genome* développé par Bruno Capdevilla Ibáñez dans le cadre de sa thèse CIFRE [Capdevilla Ibáñez, 2013]. En second lieu, l'équipe MOCAH voulait être en mesure de réutiliser les travaux issus du projet *Donjons & Radon* qui visait à développer un jeu sérieux d'apprentissage de la physique et de la chimie à des élèves de collège. Enfin, nous cherchions à avoir un jeu capable d'être adapté avec *APPLiq* et qui implémenterait une scénarisation non linéaire contrairement à notre premier essai avec *Défenses Immunitaires*. C'est dans ce contexte que j'ai encadré le stage de Master 2 IAD<sup>45</sup> (de l'Université Pierre et Marie Curie) de Clément Rouanet. Dans ce stage, il a développé le moteur du prototype du jeu sérieux *Les Cristaux d'Éhère* en utilisant le *framework Genome* et notamment en développant une implémentation de bas niveau pour *MoPPLiq* (voir aussi p.122). L'annexe II p.172 présente une description détaillée de ce jeu sérieux au travers des 6 facettes.

Le prototype est jouable en ligne : [http://seriousgames.lip6.fr/Cristaux\\_Ehere/](http://seriousgames.lip6.fr/Cristaux_Ehere/)

Ce prototype est fonctionnel, jouable par des élèves, et il implémente *MoPPLiq*, il est donc parfaitement éligible pour l'évaluation d'*APPLiq* décrite dans cette section, il en sera d'ailleurs le principal support.

### IV.1.3. Adaptation du jeu sérieux « Google Blockly Maze »



**Figure 54 :** Capture d'écran de la version adaptée du jeu sérieux « Blockly Maze », utilisée pour la conception itérative d'APPLiQ et l'implémentation haut niveau de MoPPLiQ.

En parallèle du développement du jeu sérieux *Les Cristaux d'Éhère*, j'ai développé une version dérivée (*fork*) du jeu sérieux *Blockly Maze*<sup>50</sup> développé par Google et mis à disposition sous licence Apache. Il s'agit d'un jeu sérieux destiné à l'apprentissage de la programmation par briques à l'instar de *Scratch* [Resnick et al., 2009]. Le but pour l'apprenant-joueur est de programmer la trajectoire d'un avatar automatique dans un labyrinthe au moyen de blocs d'instructions de type et de nombre éventuellement limités.

Le jeu sérieux initial, proposé par Google, est découpé en niveaux. Mais, l'ensemble est constitué d'un programme monolithique dans lequel, d'une part, les niveaux ne peuvent pas être modifiés indépendamment (il est donc très complexe d'en faire de nouveaux), d'autre part, la scénarisation est linéaire et fixée. Le jeu sérieux n'est donc pas utilisable en l'état avec *APPLiQ*. Donc, j'ai réorganisé une partie du code source de *Blockly Maze*, en isolant le code des niveaux dans des fichiers indépendants et facilement modifiables, et en programmant un système de scénarisation non linéaire qui se fonde sur l'implémentation de haut niveau de *MoPPLiQ* (décrite dans la section III.2 p.125). J'ai aussi ajouté une dizaine de niveaux, dont trois d'entre-eux pourront servir d'activités tampon pour rendre le jeu sérieux intéressant à tester avec *APPLiQ*.

Cette version de *Blockly Maze* modifiée a servi à tester l'implémentation de haut niveau de *MoPPLiQ* et a aussi été testée par une dizaine d'étudiants de DU (Diplôme d'Universitaire) et de Master 2 IFL<sup>42</sup> de l'Université Pierre et Marie Curie dans le but d'informer la conception d'*APPLiQ*. Les étudiants ont joué au jeu sérieux modifié, créé de nouveaux niveaux et modifié des niveaux existants, mais aussi créé de nouveaux parcours pédago-ludiques avec *APPLiQ*. Ces tests ont servi à alimenter l'une des itérations du développement d'*APPLiQ*.

<sup>50</sup> Le jeu sérieux Blockly Maze est jouable en ligne à l'URL: <https://blockly-demo.appspot.com/static/apps/maze/index.html>

La version modifiée de *Blockly Maze* avec une scénarisation non linéaire et de nouveaux niveaux (à plusieurs états d'entrée ou de sortie et des activités tampons) est disponible en ligne :

<http://seriousgames.lip6.fr/blockly/apps/maze/>

La sous-section suivante présente les indicateurs choisis pour évaluer *APPLiq* avec le jeu sérieux *Les Cristaux d'Éhère*, avant la présentation du protocole expérimental.

## IV.2. Hypothèses à évaluer et indicateurs utilisés

---

L'expérimentation menée sur *APPLiq* cherche à informer sa conception, ainsi que celle de *MoPPLiq*, en testant plusieurs hypothèses. L'objectif général de la démarche de *meta-design* des jeux sérieux qui est évaluée à travers *MoPPLiq* et *APPLiq* est de créer des conditions favorables à l'utilisation des jeux sérieux par les enseignants avec leurs élèves. Par conséquent, l'hypothèse principale (*hypothèse 1*) testée par cette expérimentation est :

**Hypothèse 1 :** *APPLiq* facilite l'adoption d'un jeu sérieux par des enseignants

Cette hypothèse, en réalité composite, est principalement évaluée au travers des contributions associées aux deux précédents chapitres : l'outil auteur qui facilite l'instrumentalisation (*hypothèse 2*) et le modèle qui permet l'instrumentation (*hypothèse 3*) des jeux sérieux :

**Hypothèse 2 :** *APPLiq* permet la création et la modification de parcours pédagogiques de façon à ce que les enseignants les considèrent utilisables avec des élèves

**Hypothèse 3 :** *APPLiq* et sa représentation graphique de *MoPPLiq* aident les enseignants à comprendre le scénario d'un jeu sérieux

L'expérimentation a aussi trois objectifs secondaires, deux d'entre-eux sont de tester deux autres hypothèses liées aux fonctionnalités proposées par *APPLiq* :

**Hypothèse 4 :** Les enseignants utilisent des fonctions de partage et d'évaluation collaborative des éléments du jeu sérieux proposés par *APPLiq*

**Hypothèse 5 :** Les enseignants préfèrent choisir des activités par le biais des objectifs pédagogiques qu'elles permettent de travailler

Le dernier objectif de cette évaluation ne concerne pas *APPLiq* et ne seront pas détaillés ici : il s'agit de collecter des informations pour améliorer le prototype du jeu sérieux *Les Cristaux d'Éhère*.

Pour mettre à l'épreuve chacune de ces hypothèses, j'ai établi plusieurs indicateurs décrits dans les sous-sections suivantes. Suivra la description du protocole, du recrutement et celle du déroulement de l'expérimentation.

#### **IV.2.1. Indicateurs pour mettre à l'épreuve l'hypothèse 1**

Sur une échelle de temps courte (quelques semaines) et un échantillon de participants réduits, évaluer directement l'effet d'*APPLiq* sur l'adoption d'un jeu sérieux doit se faire avec les déclarations des participants. J'ai donc choisi de demander à des enseignants de tester *Les Cristaux d'Éhère* en profondeur, puis de se prononcer sur leur volonté d'utiliser le jeu sérieux avec leurs élèves. Dans un second temps, après leur utilisation d'*APPLiq* pour adapter le jeu sérieux, cette même question est reposée aux mêmes enseignants. L'indicateur est produit par l'analyse des différences entre les deux séries de déclarations.

Un second indicateur est aussi fondé sur les déclarations des enseignants participants ayant utilisé *APPLiq* : il leur est demandé s'ils préfèrent continuer à utiliser le jeu sérieux avec ou sans *APPLiq*, et s'ils désirent utiliser *APPLiq* pour d'autres jeux sérieux.

Ces deux indicateurs sont des compléments aux observations liées aux hypothèses 2 et 3 qui visent également à questionner l'effet d'*APPLiq* sur l'adoption du jeu sérieux *Les Cristaux d'Éhère* par les enseignants participants.

#### **IV.2.2. Indicateurs pour mettre à l'épreuve l'hypothèse 2**

Pour mettre à l'épreuve la seconde hypothèse, j'ai choisi de tester séparément deux aspects différents. Le premier aspect est la *création* d'un nouveau parcours pédago-ludique pour *Les Cristaux d'Éhère*. Le second aspect est la *modification* d'un parcours sous-optimal fourni aux enseignants. Ces deux aspects sont testés et évalués de la même façon et selon deux stratégies. La première stratégie est d'examiner les parcours construits par les enseignants pour vérifier qu'ils sont *jouables* (c'est-à-dire qu'ils ne comportent pas d'incohérences ludiques). La seconde stratégie est de demander aux enseignants, eux-mêmes, d'évaluer les parcours qu'ils ont créés, et notamment de déclarer s'ils seraient prêts à les utiliser avec leurs élèves.

Donc, le premier indicateur est le nombre de parcours jouables créés ou modifiés, et le second indicateur est le nombre de leurs parcours que les enseignants considèrent prêts à l'emploi.

#### **IV.2.3. Indicateurs pour mettre à l'épreuve l'hypothèse 3**

Pour mettre à l'épreuve l'hypothèse 3, j'ai proposé aux enseignants ayant longuement joué à *Les Cristaux d'Éhère* de décrire certains aspects du scénario permettant de savoir s'ils ont fini le jeu sérieux, testé tous les niveaux, et compris le scénario. Puis, j'ai soumis ces mêmes enseignants à la représentation graphique *MoPPLiq* du scénario du jeu sérieux et je leur ai posé de nouveau des questions similaires. Le but de ce second jeu de questions est de constituer un indicateur analysant dans quelle mesure la compréhension du scénario par les enseignants a pu changer. En parallèle, je leur ai demandé d'auto-évaluer combien la représentation graphique avait pu faire changer cette compréhension.

#### **IV.2.4. Indicateurs pour les hypothèses 4 et 5**

Pour mettre à l'épreuve l'hypothèse 4 j'ai choisi à la fois d'utiliser les déclarations d'enseignants ayant utilisé *APPLiq* sur leurs usages avec les fonctions de collaboration (partage, notation), et à la fois de mesurer effectivement dans *APPLiq* quels ont été ces usages.

Pour mettre à l'épreuve la dernière hypothèse, j'ai choisi de n'utiliser que ce que les enseignants ayant utilisé *APPLiq* déclarent, en leur demandant s'ils avaient choisi leurs activités grâce aux objectifs qui les indexent, ou autrement.

### **IV.3. Protocole, recrutement et déroulement de l'expérimentation**

---

Une des difficultés de cette expérimentation a été de trouver des enseignants de SPCFA connaissant les programmes et le public cible (collégiens) du jeu sérieux *Les Cristaux d'Éhère*. Il fallait aussi qu'ils soient disponibles pour découvrir le jeu sérieux, découvrir *APPLiq* et son formalisme et mener différentes opérations comme modifier et créer un parcours pédagogique et répondre à des questions. Cette contrainte majeure du recrutement, dont le risque principal était un effectif très faible, a été déterminante dans le choix de faire une expérimentation à distance, en limitant son ambition à questionner les hypothèses pour informer la conception d'*APPLiq* et de *MoPPLiq*. L'autre obstacle est le fait que le jeu sérieux soit encore à l'état de prototype, certes utilisable avec des élèves, mais très loin d'être un produit fini. Ainsi, il a fallu tenir compte de cela dans le protocole afin qu'il n'implique pas les élèves eux-mêmes, et qu'il soit systématiquement mentionné qu'il s'agit d'un prototype d'étude.

Cette expérimentation est découpée en 6 étapes où les enseignants manipulent le jeu sérieux, utilisent *APPLiQ* et se prononcent par voie de questionnaires (à la fin de chacune des étapes). Ces étapes sont décrites dans les sous-sections qui suivent, avant de détailler le recrutement des participants et le déroulement de l'expérimentation.

### IV.3.1. Protocole de l'expérimentation

#### a) Étape 1 : présentation

La première étape de l'expérimentation est une étape de présentation réciproque. D'une part, l'expérimentation et ses modalités (durée, outils, méthodes) sont présentées aux participants, d'autre part, les participants sont invités à remplir un questionnaire permettant de mesurer leur connaissance des programmes de 5<sup>e</sup> de SPCFA, leur maîtrise du Numérique, notamment Éducatif (TICE), et leur connaissance des jeux sérieux.

#### b) Étape 2 : Prise en main et évaluation du jeu sérieux

Au cours de cette étape, les participants sont invités à explorer le jeu sérieux *Les Cristaux d'Éhère* en imaginant comment l'intégrer dans une progression pédagogique. Le jeu sérieux qui est fourni à cette étape comporte un parcours pédao-ludique par défaut qui contient tous les niveaux (activités) que nous avons développés, soit : 10 activités normales et 5 activités tampon.

Un questionnaire est soumis aux participants avant le passage à l'étape suivante. Il collecte des informations sur leur appréciation du jeu sérieux et sur la compréhension du scénario pour nourrir les indicateurs portant sur les hypothèses 1 et 3.

#### c) Étape 3 : Examen du parcours pédao-ludique dans *APPLiQ*

À l'étape 3, les participants sont invités à consulter une représentation du parcours pédao-ludique qu'ils ont pu jouer à l'étape précédente. Cette représentation est générée par *APPLiQ* (visible sur la Figure 55) et est accompagnée d'une documentation succincte et d'une documentation détaillée des différents aspects du modèle *MoPPLiQ*. Les enseignants sont invités à examiner cette représentation de façon à repérer les activités qui permettent de travailler un objectif pédagogique particulier. Cet objectif (« Identifier un état physique à partir de ses propriétés ») a été choisi, car il est présent dans de nombreuses activités du jeu sérieux.

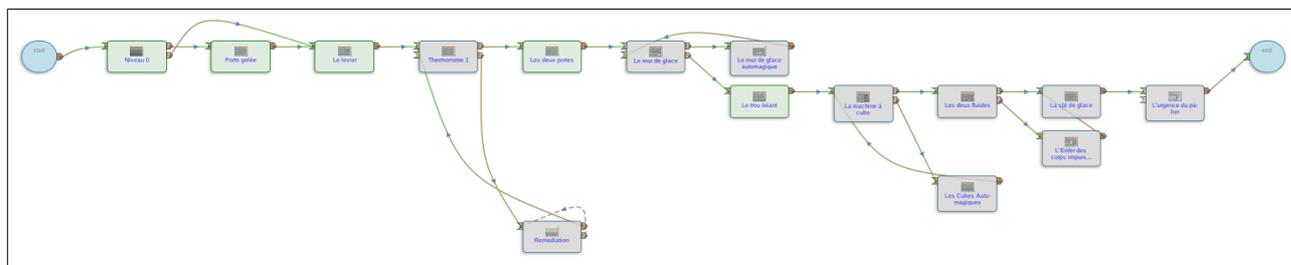


Figure 55 : Représentation graphique du parcours pédao-ludique par défaut proposé aux participants

Avant de passer à l'étape suivante, un questionnaire est soumis aux participants avec des questions portant sur leur compréhension du scénario et sur d'éventuels apports de la représentation graphique qu'ils ont pu examiner. Ce questionnaire vise les indicateurs de l'hypothèse 3.

#### d) Étape 4 : Création d'un parcours pédao-ludique

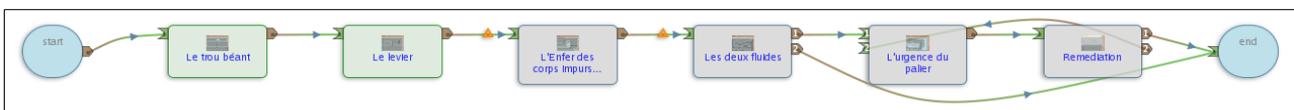
Cette étape marque le début des manipulations des parcours pédao-ludiques par les participants. À l'étape précédente, ils avaient appris à les lire, à cette étape il leur est proposé de construire un parcours, de quelques activités seulement, visant une thématique pédagogique précise (« *reconnaissance des différents états de l'eau et notamment de l'eau à l'état solide, et du fait qu'elle ait une forme propre* »). La thématique a été choisie, car il est facile de la faire travailler avec peu d'activités, et avec un grand choix d'activités différentes.

Les participants sont aidés par une documentation qui contient à la fois un mode d'emploi et un pas-à-pas pour créer son propre parcours.

En fin d'étape, un questionnaire porte sur le parcours créé et sur la possibilité de l'utiliser avec des élèves. Par conséquent, il vise les indicateurs de l'hypothèse 2. Il porte aussi sur la praticité de certaines fonctionnalités (notamment la détection et correction des incohérences dans le parcours). Les parcours réalisés par les participants sont également collectés pour analyse (hypothèse 2).

#### e) Étape 5 : Modification d'un parcours sous-optimal

Pour cette étape, j'ai conçu un parcours pédao-ludique volontairement sous-optimal, car les activités y sont enchaînées de manière illogique, et parce qu'il contient des incohérences pédagogiques (voir la Figure 56 ci-dessous). Les participants étaient invités à modifier ce parcours pour le rendre jouable avec leurs élèves et travailler sur un thème précis (« *changements d'état de l'eau des corps purs et des mélanges* » sachant que le parcours proposé contient des activités sans rapport avec ce thème). Ils étaient assistés par une documentation donnant quelques astuces d'utilisation d'APPLiq.



**Figure 56 :** Parcours sous-optimal proposé à la modification aux participants de l'expérimentation. Le parcours comporte deux incohérences pédagogiques, et un enchaînement d'activités peu satisfaisant.

Le questionnaire proposé à la fin de cette étape est très similaire au précédent et poursuit les mêmes buts : renseigner les indicateurs de l'hypothèse 2 et collecter des informations sur les fonctionnalités d'APPLiq. Par ailleurs, les parcours modifiés sont collectés pour analyse (toujours pour mettre à l'épreuve l'hypothèse 2).

#### f) Étape 6 : Bilan

Cette dernière étape est surtout l'occasion de soumettre les participants à un dernier questionnaire qui vise des indicateurs portant sur la totalité des

hypothèses de cette expérimentation. Ainsi, les participants sont questionnés sur leur volonté d'utiliser le jeu sérieux avec leurs élèves, sur le fait qu'ils souhaitent l'utiliser avec *APPLiQ* ou non, sur leur compréhension du scénario du jeu sérieux (de façon directe et indirecte), sur les fonctionnalités de partage utilisées, sur les moyens de choisir les activités employées, etc.

Prévu pour être suivi entièrement à distance ce protocole est encadré par une plateforme web programmée pour l'occasion qui sert de tableau de bord aux participants (Figure 57). Cette plateforme leur donne accès à toutes les informations nécessaires pour l'étape qui est en cours et débloque l'étape suivante lorsque le questionnaire correspondant est soumis.

The screenshot shows a web interface for 'Expérimentations avec le prototype du jeu sérieux *Les Cristaux d'Éhère*'. The user's name is Bertrand and the email is bertrand.marne@lip6.fr. The main heading is 'Étape 4 : Création d'un petit « parcours »'. A progress bar shows six steps, with 'Étape 4' highlighted in red. The text explains that APPLiQ allows creating new paths for players. It suggests reading a document titled 'Construire un nouveau parcours' before starting. A link is provided to create a new path: <http://serlousgames.lip6.fr/appliQ/?ProjetDR>. After creating a path, users are directed to a questionnaire at [https://docs.google.com/forms/d/1g6egSs3WmkS5DrFOjn93\\_-gM\\_Xr6sTknEb88haFL4E/viewform](https://docs.google.com/forms/d/1g6egSs3WmkS5DrFOjn93_-gM_Xr6sTknEb88haFL4E/viewform). A note indicates the questionnaire takes 15 minutes. At the bottom, there is contact information for Bertrand Marne.

Figure 57 : Capture d'écran du tableau de bord de l'expérimentation d'APPLiQ, à l'étape 4.

### IV.3.2. Recrutement des participants

Le recrutement des participants s'est fait en se fondant sur le volontariat et le bénévolat. J'ai fait transmettre l'appel à candidatures à plusieurs listes de diffusions nationales et locales de professeurs de SPCFA. Cet appel comportait une description et des captures d'écran du jeu sérieux *Les Cristaux d'Éhère*, une description de l'expérimentation indiquant notamment la durée estimée, le nombre d'étapes, le matériel nécessaire et la période durant laquelle elle aurait lieu. Le protocole de l'expérimentation n'impliquant pas d'élève, il était précisé qu'il ne serait pas nécessaire d'utiliser

le jeu sérieux avec eux. La description de l'expérimentation est restée volontairement peu détaillée.

### ***IV.3.3. Biais liés au protocole et au recrutement***

J'ai identifié un certain nombre de biais de ce protocole et du recrutement qui l'accompagne. Le fait que le protocole se déroule à distance est la source d'un certain nombre de biais. D'abord, les participants ne sont pas formellement identifiés, mais seulement reconnus par une adresse de messagerie électronique qui ne certifie pas, par exemple, leur fonction en tant qu'enseignants. Ensuite, les questions qui sont posées aux participants le sont dans des questionnaires préfabriqués, sans proposer la souplesse d'un entretien dirigé permettant de rebondir sur des points peu clairs ou incomplets. Enfin, nombre d'indicateurs dépendent de déclarations faites par les participants. Même si les questionnaires sont conçus pour limiter les éventuelles exagérations, minimisations ou inexactitudes de ces déclarations, cela constitue un biais majeur de l'expérimentation.

Le recrutement aussi provoque certains biais. Ainsi, les participants sont des volontaires bénévoles ayant notamment accepté de tester un jeu sérieux. Ils montrent ainsi des dispositions à l'égard de ce type de support qui biaisent la représentativité de l'échantillon. Le recrutement large, par le biais de listes de diffusion entraîne aussi le recrutement d'enseignants ne correspondant pas au profil défini par le fait qu'ils doivent connaître les programmes et le public de 5<sup>e</sup>.

La discussion des résultats proposée dans la sous-section IV.4 p.138 tient compte de ces biais.

### ***IV.3.4. Déroulement de l'expérimentation***

36 enseignants de profils variés se sont portés volontaires (et une dizaine supplémentaire ont proposé de commencer l'expérimentation seulement). Parmi cette quarantaine de volontaires, seuls 31 ont réellement commencé l'expérimentation (seuls 27 ont répondu au questionnaire de présentation).

Alias	Compé- tences Nu- mériques es- timées (sur 6)	Compé- tences TICE estimées (sur 6)	Connais- sance des jeux sérieux déclarées (sur 4)	Expérience TICE glo- bale estimée (en %)	Connais- sance du pu- blic (collé- giens)	Connais- sance des programmes (5e)	Participants dans le profil recherché
A	6	6	0	80	oui	oui	oui
B	6	6	1	87	oui		oui
C	6	5	0	74	oui		oui
D	6	6	1	87		oui	oui
E	3	3	0	40	oui		oui
F	6	6	2	94	oui		oui
G	6	5	1	80	oui	oui	oui
H	6	1	2	60	oui		oui
I	2	1	0	20	oui		oui
J	3	1	1	34	oui		oui
K	6	5	1	80	oui		oui
L	4	5	0	60	oui		oui
M	6	5	2	87	oui	oui	oui
N	5	4	1	67	oui		oui
O	6	5	2	87	oui		oui
P	6	6	2	94	oui		oui
Q	4	3	1	54	oui		oui
R	6	3	1	67		oui	oui
S	6	4	3	87	oui		oui
T	6	3	1	67	oui		oui
U	6	5	0	74	oui		oui
V	4	1	1	40	oui		oui
W	6	6	0	80	oui		oui
X	6	4	3	87	oui	oui	oui
Y	6	5	3	94			
Z	6	1	2	60	oui		oui
AA	6	4	1	74	oui		oui

**Tableau 5 :** Effectif de l'expérimentation menée sur APPLiq.

Sont représentés ici les participants ayant répondu au premier questionnaire de présentation. Les données présentées dans ce tableau sont donc issues de déclarations des participants. Les alias sont présentés pour repérer les participants dans les autres tableaux de résultats.

Tout au long de l'expérimentation, les participants ont été suivis au jour le jour, parfois relancés ou aidés par messagerie électronique. Les participants ont eu quatre semaines (contre deux annoncées) pour parcourir les 6 étapes de l'expérimentation sachant que la durée estimée de l'expérimentation est d'un peu plus de 4 h en continu.

Malgré les relances et les encouragements, il y a eu au fil des étapes une forte perte de participants. Ainsi, 4 participants n'ont pas dépassé l'étape 1 (n'ont pas rempli le questionnaire initial de présentation et ne sont donc pas listés dans le Tableau 5 ci-dessus), 7 se sont arrêtés avant de remplir le premier

questionnaire sur le jeu sérieux et n'ont donc pas franchi l'étape 2, 2 ont bien rempli ce questionnaire, mais restent à l'étape 3 de découverte du parcours par défaut, 6 ont pu découvrir le parcours par défaut, mais n'ont pas terminé l'étape 4 (seuls trois d'entre-eux ont commencé à créer un parcours), 3 sont à l'étape 5 (un seul a commencé à modifier le parcours sous-optimal) et enfin 9 participants ont atteint l'étape 6. Le Tableau 6 ci-dessous récapitule les effectifs de chaque étape de l'expérimentation.

Étape	Étape 1	Étape 2	Étape 3	Étape 4	Étape 5	Étape 6
Nombre de participants ayant arrêté	4	7	2	6 (dont 3 n'ont pas créé de parcours)	3 (dont 2 n'ont pas modifié de parcours)	9

**Tableau 6 :** Nombre de participants à chaque étape à la fin de l'expérimentation

Par conséquent, malgré un nombre de volontaires assez encourageant, les résultats complets (notamment ceux qui portent sur les hypothèses 1, 2, 4 et 5) ne seront issus des traces laissées par 9 participants seulement. Pour l'hypothèse 3, les traces de 18 participants ont pu être utilisées.

## IV.4. Résultats et discussion

Étant donné que l'hypothèse principale testée est dépendante des hypothèses 2 et 3 (voir aussi p.130), j'ai choisi de commencer par présenter les résultats qui portent sur ces dernières avant d'aborder ceux de l'hypothèse 1. Je commence donc par la mise à l'épreuve qui a reçu le plus de participants, celle de l'hypothèse 3.

### IV.4.1. Résultats portant sur l'hypothèse 3

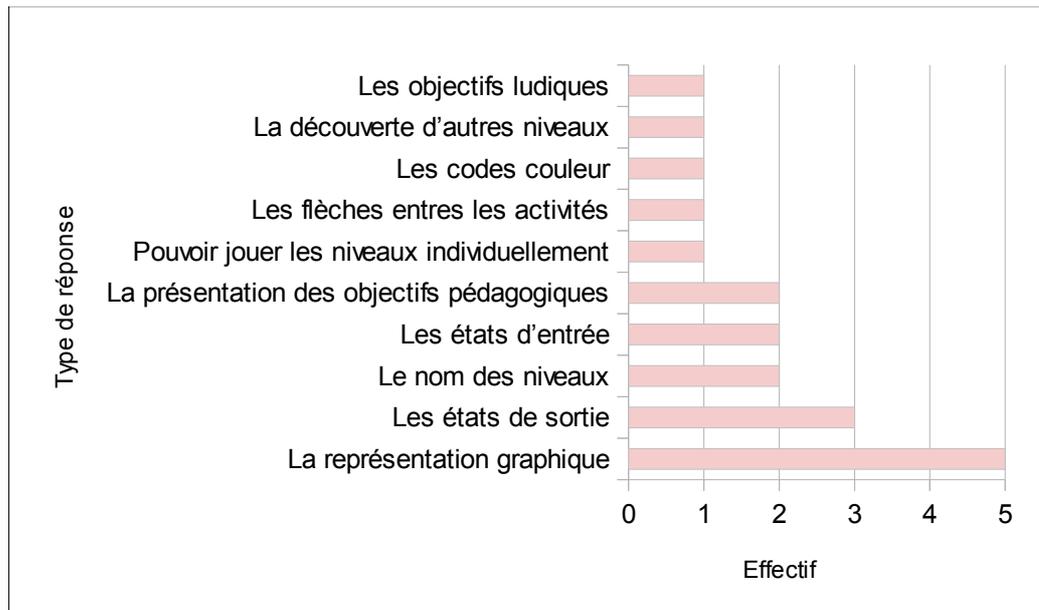
Les résultats présentés ici sont construits à partir de deux jeux de questions relativement proches posées après que les participants ont testé le jeu sérieux, et après qu'ils ont consulté le modèle graphique *MoPPLiq* du parcours péda-go-ludique joué. Ces questions ont pour objectif de savoir si « *APPLiq* et sa représentation graphique de *MoPPLiq* aident les enseignants à comprendre le scénario d'un jeu sérieux » (hypothèse 3). Les résultats sont compilés dans le Tableau 7 ci-après.

L'analyse des résultats montre que les participants ont peu retenu le scénario du jeu sérieux après l'avoir testé en profondeur (à l'étape 2). Les réponses de seulement 4 des 18 participants aux étapes 2 et 3 indiquent qu'ils pensent l'avoir retenu à la fin de l'étape 2. Après la consultation de la représentation graphique du scénario dans *APPLiq* (à l'étape 3), ce sont 9 des 18 participants qui revendiquent avoir bien retenu le scénario. Ainsi, pour 8 d'entre-eux, une amélioration de la compréhension est constatée après la consultation de la représentation graphique. D'ailleurs, 14 d'entre-eux déclarent que la consultation de la représentation graphique du scénario les aide à le mémoriser et le comprendre. Pour 4 d'entre-eux ce n'est donc pas le cas.

alias	expertise TICE	Étape2 : Se souvenir du scénario après avoir joué (sur 2)	Étape 3 : Se souvenir du scénario après l'avoir consulté (sur 2)	Différences entre étape 3 et 2	Revendiquent avoir été aidés par la représentation graphique (sur 4)
B	87	1	0	-1	2
E	40	1	2	1	4
G	80	1	1	0	3
J	34	1	1	0	3
K	80	1	2	1	4
L	60	2	2	0	4
M	87	1	2	1	4
N	67	1	1	0	1
O	87	2	1	-1	4
P	94	0	1	1	1
Q	54	1	2	1	4
R	67	1	1	0	4
S	87	0	1	1	3
T	67	1	2	1	4
V	40	1	2	1	3
X	94	2	2	0	3
Y	94	2	2	0	3
Z	60	1	1	0	2

**Tableau 7 :** Capacité à se souvenir du scénario après avoir joué et après avoir examiné le scénario

Dans les questionnaires, les participants avaient la possibilité de justifier leur choix par une réponse libre. Ceux qui pensent avoir été aidés par la représentation graphique du scénario ont avancé des arguments qui sont résumés sur la Figure 58 ci-dessous. Ainsi, les participants déclarent que la représentation graphique et les états de sortie de *MoPPLiq* les ont aidés à comprendre le scénario de *Les Cristaux d'Éhère*. Seules deux propositions d'amélioration ont été données : « Augmenter la taille des copies d'écran » et « Diminuer le nombre des objectifs à atteindre » (ce second élément concernant plutôt le jeu sérieux lui-même).



**Figure 58** : Effectif de ce qui est déclaré comme facilitant la compréhension du scénario dans la représentation du scénario proposée par APPLiq. Les déclarations des participants ont été regroupées par similarité.

En conclusion sur l'hypothèse « *APPLiq et sa représentation graphique de MoPPLiq aident les enseignants à comprendre le scénario d'un jeu sérieux* », cette expérimentation montre que les participants déclarent avoir été plutôt aidés, en particulier par la présence d'une représentation graphique dotée d'états de sortie qui montrent les branchements de la scénarisation pédago-ludique. Leurs déclarations montrent également qu'ils avaient une meilleure connaissance du scénario après avoir pu le consulter dans *APPLiq* qu'après avoir seulement testé le jeu sérieux. Ceci conforte bien l'idée que la représentation graphique du modèle *MoPPLiq* proposée dans *APPLiq* aide les enseignants à comprendre un jeu sérieux, ce qui est un des éléments de son appropriation par l'instrumentation.

#### IV.4.2. Résultats portant sur l'hypothèse 2

Un des buts de cette expérimentation est de mettre à l'épreuve l'hypothèse 2 qui est « *APPLiq permet la création et la modification de parcours pédago-ludiques de façon à ce que les enseignants les considèrent utilisables avec des élèves* ». Pour cela, j'ai choisi d'utiliser deux types de traces. D'une part les réponses aux questionnaires soumis en fin des étapes 4 et 5 (respectivement de création et de modification de parcours pédago-ludiques) et les réponses au questionnaire final. D'autre part, l'analyse des parcours effectivement créés et modifiés par les participants.

Aussi bien pour les parcours créés que les parcours modifiés, l'analyse repose sur des caractéristiques simples, liées à la fois à l'hypothèse 2 et aux consignes données aux participants. J'ai retenu 7 caractéristiques pour évaluer les parcours **créés** (en fin d'étape 4), dont 6 portent sur l'hypothèse 2 et une seule

sur la consigne donnée aux participants<sup>51</sup>. Ces caractéristiques sont : « *le parcours comporte des activités sur la forme propre de l'eau solide* », « *le parcours n'a pas d'incohérence ludique* », « *le parcours a peu d'incohérences pédagogiques* », « *le parcours comporte des branchements* », « *le parcours comporte des activités tampons* », « *le parcours comporte plus de 3 activités (hors tampon)* » et « *le parcours comporte au moins une activité (hors tampons)* ». J'ai fait une somme de la présence de ces caractéristiques (valant 1), pour obtenir une évaluation du parcours. Le Tableau 8 donne les évaluations de tous les parcours créés. Les parcours qui ont un score de zéro ne figurent pas dans le tableau, ce sont les parcours totalement vides (aucune activité ajoutée) des participants L, R et S.

Alias	Activité sur la forme propre de l'eau solide	Pas d'incohérence ludique	Peu d'incohérences pédagogiques	Branchements	Activités tampons	Plus de 3 activités (hors tampon)	Au moins une activité (hors tampons)	Évaluation du parcours créé (somme sur 7)
B		oui	oui		oui			3
E	oui	oui	oui		oui	oui	oui	6
K	oui	oui	oui		oui		oui	5
M	oui	oui	oui		oui			4
O	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	7
Q	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	7
V	oui	oui		oui	oui		oui	5
X		oui	oui		oui			3
Y	oui	oui		oui	oui		oui	5

**Tableau 8 :** Évaluation à partir de caractéristiques choisies des parcours pédao-ludiques **créés** par les participants.

J'ai utilisé 4 caractéristiques différentes pour l'évaluation des parcours pédao-ludiques **modifiés** à partir du parcours sous-optimal fourni (voir la Figure 56 p.134) à la fin de l'étape 5. L'une des caractéristiques est liée à la consigne donnée aux participants<sup>52</sup>. Les trois autres sont liées à l'hypothèse 2. Les caractéristiques sont : « *l'ordre des activités a été modifié* », « *le parcours n'a pas d'incohérence ludique* », « *le parcours n'a plus d'incohérences pédagogiques* », « *toutes les activités du parcours sont branchées* ». Comme pour l'analyse des parcours créés, j'ai fait la somme des caractéristiques présentes pour obtenir l'évaluation placée dans le Tableau 9. Les évaluations des parcours non modifiés (score de zéro) des participants B et X ne figurent pas dans le tableau.

51 La consigne donnée aux participants est : construire un parcours pédao-ludique sur la « *reconnaissance des différents états de l'eau et notamment de l'eau à l'état solide, et du fait qu'elle ait une forme propre* ».

52 La consigne donnée aux participants est : rendre le parcours jouable pour des travaux sur les « *changements d'état de l'eau des corps purs et des mélanges* ».

Alias	Changement de l'ordre des activités	Pas d'incohérence ludique	Pas d'incohérence pédagogique	Toutes les activités connectées	Évaluation du parcours modifié (somme sur 4)
E	oui	oui		oui	3
K	oui	oui		oui	3
M	oui	oui			2
O	oui	oui			2
Q	oui	oui	oui	oui	4
R	oui	oui	oui		3
Y	oui	oui		oui	3

**Tableau 9 :** Évaluation à partir de caractéristiques choisies des parcours pédago-ludiques **modifiés** par les participants.

L'analyse des résultats permet de constater qu'aussi bien pour les parcours créés (Tableau 8) que les parcours modifiés (Tableau 9), les parcours produits ne comportent aucune incohérence ludique. Il semble donc que le système de compensation automatique d'*APPLiq* (décrit dans la section I.4 p.108) ait bien fonctionné, réussissant à aider les participants à concevoir des parcours cohérents de ce point de vue, et donc jouables. Les codes-couleur placés dans la colonne d'évaluation des deux tableaux de résultats permettent de distinguer les parcours ayant été évalués à 4/7 et plus pour les parcours créés, et 3/4 et plus pour les parcours modifiés. Après examen attentif des parcours, je considère que ceux qui ont ces scores élevés pourraient tout à fait être utilisés avec des élèves. Alors que les autres ne semblent pas assez finis. 7 des 9 parcours **créés** (en ne comptant pas les parcours vides) paraissent utilisables avec des élèves. 5 des 7 parcours **modifiés** paraissent utilisables. Ces éléments tendent à confirmer l'hypothèse « *APPLiq* permet la création et la modification de parcours pédago-ludiques de façon à ce que les enseignants les considèrent utilisables avec des élèves ».

L'analyse des parcours produits permet aussi de constater que seulement une partie de participants se sont lancés dans la création de parcours branchés (seuls 4 sur les 9 participants), et qu'ils ont eu tendance à construire des parcours plutôt très courts (entre une et trois activités, sans compter les activités tampon). L'analyse des parcours modifiés permet de constater que certains participants n'ont pas su ou pas voulu connecter correctement les activités de leur parcours.

Les autres traces collectées en rapport avec l'hypothèse 2 concernent les réponses aux questionnaires posés à la fin des étapes 4, 5 et 6. Le Tableau 10, ci-dessous, montre ce que les enseignants déclarent à propos de leur parcours. Parmi les questions, il était demandé aux participants s'ils étaient satisfaits de leur nouveau parcours (étape 4) ou de leur parcours modifié (étape 5), et s'ils considéraient que leurs parcours étaient utilisables avec des élèves. Dans ce tableau, sont également reportées les évaluations des parcours produits par les participants (issus des tableaux 8 et 9 ci-dessus). Les traces des participants L et S n'ayant ni créé, ni modifié, de parcours ont été omises.

Alias	Exper- tise TICE	Étape 4 : Parcours créés			Étape 5 : Parcours modifiés		
		Évaluation (sur 7)	Déclarations		Évaluation (sur 4)	Déclarations	
			Satisfait du parcours (sur 4)	Utilisable ? (sur 6)		Satisfait du parcours (sur 4)	Utilisable ? (sur 6)
B	87	3	4	1	0	4	1
E	40	6	4	1	3	1	6
K	80	5	3	6	3	4	2
M	87	4	2	4	2	3	3
O	87	7	2	5	2	3	2
Q	54	7	2	5	4	2	5
R	67	0	4	1	3	4	1
V	40	5	3	1			
X	94	3	3	6	0	4	6
Y	94	5	3	4	3	2	4

**Tableau 10** : Avis déclarés sur les parcours créés (étape 4) et modifiés (étape 5) par les participants.

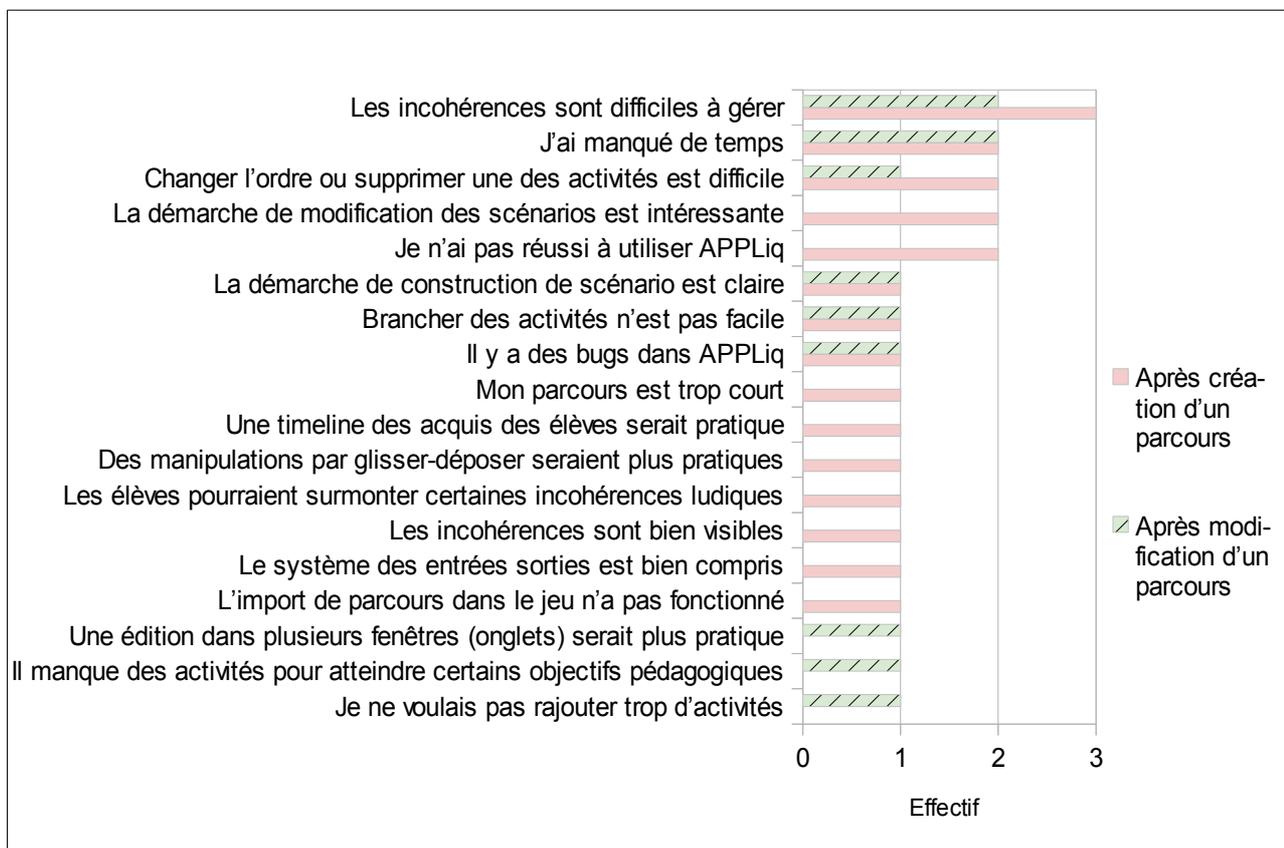
L'analyse des réponses aux questionnaires permet de constater que les participants sont plutôt satisfaits des parcours créés (étape 4). C'est le cas de 6 des 9 participants ayant créé un parcours non vide. Paradoxalement, les 3 participants (M, O et Q) qui se déclarent les moins satisfaits de leur parcours créé, sont ceux qui ont produit les parcours qui possèdent le plus de caractéristiques ayant servi à leur évaluation (Tableau 8 p.141), et qui eux-mêmes considèrent leur parcours tout à fait utilisable avec des élèves. Dans le questionnaire soumis en fin d'étape 4, ces questions dirigées étaient accompagnées de la possibilité d'ajouter des remarques libres (dont la synthèse est Figure 59 p.144) qui ne permettent pas d'éclairer ce paradoxe. L'examen des résultats montre aussi que 6 participants sur les 9 ayant produit des parcours non vides pensent que leur parcours créé est utilisable avec les élèves. Leurs auto-évaluations sont très proches de celles fondées sur les 7 caractéristiques présentés dans le Tableau 8 p.141. Enfin, il y a une autre étrangeté à noter dans ces déclarations : les participants ayant produit un parcours vide (L, R et S) s'en déclarent satisfaits même s'ils les considèrent non utilisables avec des élèves. Ceci interroge plus généralement sur la validité des déclarations qui sont faites par les participants.

Pour conclure, ces déclarations semblent abonder dans le sens de l'évaluation des parcours qui ont été produits, c'est-à-dire qu'elles tendent à corroborer l'hypothèse 2 : « *APPLiQ permet la création et la modification de parcours péda-go-ludiques de façon à ce que les enseignants les considèrent utilisables avec des élèves* ».

L'analyse des déclarations sur les parcours modifiés (étape 5) permet de constater une fois de plus que les participants sont majoritairement satisfaits de leurs parcours (4 sur 7 parmi ceux qui ont modifié le parcours sous-optimal fourni). Ici aussi, ceux qui n'en sont pas satisfaits (E, Q et Y) sont ceux qui ont fourni les parcours les mieux évalués pas nos soins (Tableau 9 p.142), et qu'ils considèrent eux-mêmes comme utilisables avec des élèves. L'un d'entre-eux a fourni une réponse libre dans laquelle il indique, au contraire, qu'il commence

à maîtriser *APPLiQ*. Il semble donc qu'il soit difficile pour des utilisateurs produisant de bons parcours de s'en convaincre (y compris s'ils ont conscience que leur parcours est tout à fait adapté à une utilisation avec des élèves). Et ce, aussi bien lors de la création (voir ci-dessus) que de la modification d'un parcours pédagogique-ludique. D'ailleurs, parmi ceux qui ont modifié le parcours sous-optimal fourni, ils sont peu à considérer que leur parcours est utilisable avec des élèves (seulement les trois qui ne sont pas satisfaits de leurs parcours : E, Q et Y). Ainsi, l'évaluation des parcours modifiés par les participants semble plus sévère que la nôtre (Tableau 9 p.142). L'analyse des résultats montre également la même particularité que pour les parcours créés : les participants n'ayant pas modifié les parcours sous-optimaux (B et X) se déclarent très satisfaits de leur parcours. Là encore cela incite à la prudence sur les déclarations.

L'analyse des réponses libres fournies avec l'évaluation des parcours créés et modifiés a permis la construction de la Figure 59 ci-dessous.



**Figure 59 :** Effectif des types de remarques libres faites par les participants à propos des parcours qu'ils ont produits. Les déclarations ont été regroupées par similarité.

Les deux éléments les plus fréquemment rencontrés dans les remarques portent sur le fait que les incohérences (pédagogiques surtout) sont difficiles à gérer ou ajoutent trop d'activités tampon (ludiques). De plus, les participants déclarent avoir manqué de temps pour faire des parcours convenables. Ces commentaires peuvent aussi être classés par grands thèmes comme dans le Tableau 11 ci-dessous. L'analyse des réponses permet de constater que la

plupart des commentaires (7 occurrences, dont une seule positive) portent sur des questions ergonomiques qui sont inévitables sur un prototype. Beaucoup de remarques portent sur le modèle et la méthodologie de construction (3 occurrences dont une seule négative) et sur les fonctionnalités d'APPLiq (3 occurrences dont une seule positive). Les remarques sont des pistes d'améliorations d'APPLiq, dans son interface et ses fonctionnalités. En particulier, la simplification des manipulations par une interface de manipulation plus directe et l'intégration de fonctionnalités pour assister encore plus les enseignants dans la résolution des incohérences de leur parcours.

Thème	Types de réponses
Ergonomie d'APPLiq	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Les incohérences sont difficiles à gérer</li> <li>– Changer l'ordre ou supprimer une des activités est difficile</li> <li>– Brancher des activités n'est pas facile</li> <li>– Je n'ai pas réussi à utiliser APPLiq</li> <li>– Une édition dans plusieurs fenêtres (onglets) serait plus pratique</li> <li>– Les incohérences sont bien visibles</li> <li>– Des manipulations par glisser-déposer seraient plus pratiques</li> </ul>
Modèle MoPPLiq et méthodologie	<ul style="list-style-type: none"> <li>– La démarche de construction de scénario est claire</li> <li>– Le système des entrées sorties est bien compris</li> <li>– Les élèves pourraient surmonter certaines incohérences ludiques</li> </ul>
Fonctionnalités d'APPLiq	<ul style="list-style-type: none"> <li>– La démarche de modification des scénarios est intéressante</li> <li>– Une <i>timeline</i> des acquis des élèves serait pratique</li> <li>– Il y a des bugs dans APPLiq</li> </ul>
Les Cristaux d'Éhère (jeu sérieux)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Il manque des activités pour atteindre certains objectifs pédagogiques</li> <li>– L'import de parcours dans le jeu n'a pas fonctionné</li> </ul>
Le parcours produit	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Je ne voulais pas rajouter trop d'activités</li> <li>– Mon parcours est trop court</li> </ul>
Éléments extérieurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>– J'ai manqué de temps</li> </ul>

**Tableau 11 :** Types de remarques libres, faites par les participants à propos des parcours qu'ils ont produits, classées par thèmes.

L'interprétation et l'analyse des traces collectées pour éprouver l'hypothèse 2 (« APPLiq permet la création et la modification de parcours pédago-ludiques de façon à ce que les enseignants les considèrent utilisables avec des élèves ») permettent donc de tirer plusieurs conclusions. L'analyse des parcours produits par les participants montre qu'ils sont plutôt utilisables avec des élèves en répondant aux objectifs visés et ainsi cette analyse tend à corroborer l'hypothèse. En ce qui concerne les déclarations des participants, compte tenu des contradictions et même des incohérences qu'elles comportent, elles sont à interpréter avec prudence. Néanmoins, en restant prudente, l'analyse permet de constater qu'elles vont globalement dans le même sens que les analyses des parcours produits, c'est-à-dire à corroborer l'hypothèse 2. Par leurs réponses libres, les participants signalent en particulier des difficultés d'ergonomie (face à la gestion des incohérences, à la difficulté de manipuler une interface à manipulation indirecte, et au manque de moyens d'auto-évaluer son parcours). Ces remarques avaient déjà été relevées lors de la pré-

évaluation d'*APPLiq* menée avec des étudiants de DU et de Master 2 en utilisant le jeu sérieux *Blockly Maze* (voir aussi la sous-section IV.1.3 p.129). L'analyse des remarques positives permet de constater que les enseignants qui se sont exprimés ont déclaré avoir apprécié la démarche proposée par *APPLiq* et la lisibilité de la représentation graphique de *MoPPLiq*. Ils déclarent aussi avoir apprécié la méthode de création et de modification préconisée par la documentation d'*APPLiq* qui leur avait été fournie (voir sa description dans la sous-section I.6 p.112).

#### IV.4.3. Résultats portant sur l'hypothèse 1

L'hypothèse 1 (« *APPLiq* facilite l'adoption d'un jeu sérieux par des enseignants ») est à la fois une hypothèse de synthèse, englobant les deux hypothèses analysées dans les sous-sections précédentes, et l'hypothèse principale des travaux qui ont guidé la conception de *MoPPLiq* et *APPLiq*.

Les résultats de l'expérimentation analysés dans les sous-sections qui précèdent montrent que la représentation graphique de *MoPPLiq* aide les enseignants à comprendre le scénario d'un jeu sérieux (hypothèse 3), et qu'*APPLiq* leur permet de concevoir des parcours péda-go-ludiques qui sont jouables (sans incohérences ludiques) et qui sont considérés utilisables avec les élèves (hypothèse 2). Ces deux éléments, l'instrumentation et l'instrumentalisation, facilitent l'appropriation des jeux sérieux par les enseignants, et probablement aussi leur adoption.

D'autres traces, fondées sur les déclarations des participants à l'étape 2 (découverte et exploration du jeu sérieux) et à l'étape 6 (bilan global), permettent d'évaluer et de comparer le niveau d'adoption du jeu sérieux *Les Cristaux d'Éhère* par les enseignants. Le Tableau 12, ci-dessous, présente la différence entre les appréciations exprimées par les participants après avoir testé le jeu sérieux (étape 2) et avoir utilisé *APPLiq* (étape 6) en les détaillant pour certains niveaux du jeu sérieux.

alias	exper-tise TICE	Machine à cube	Thermomètre	Les deux fluides	L'urgence du palier
B	87	2	-1	1	-2
E	40	1	-1	0	-1
K	80	4	2	-1	1
M	87	3	0	0	0
O	87	1	0	-2	0
Q	54	0	0	0	2
R	67	1	1	-4	-1
X	94	0	-3	0	0
Y	94	-1	0	0	0

**Tableau 12 :** Différence d'appréciation de certains niveaux, déclarée par les participants avant (étape 2) et après (étape 6) utilisation d'*APPLiq* (plus le chiffre est élevé, plus le niveau est apprécié)

Les valeurs positives montrent que les participants apprécient plus le niveau après l'utilisation d'*APPLiq*. Les valeurs négatives montrent qu'ils

l'apprécient moins. L'analyse de ces valeurs permet de constater que pour le niveau « *Machine à cubes* », il y a une augmentation de l'appréciation déclarée pour une majorité de participants (6 sur 9). Pour les autres niveaux, c'est la neutralité qui semble dominer : de 4 à 6 participants ne changent pas d'avis. L'analyse permet aussi d'observer que 3 des 9 participants disent apprécier moins le niveau pour chacun de ces autres niveaux.

Par conséquent, à l'exception du niveau « *Machine à cube* », l'utilisation d'*APPLiQ* ne semble pas avoir eu un effet marqué sur l'appréciation déclarée par les participants. Ceci ne va pas dans le sens de l'hypothèse 1.

Le Tableau 13, ci-dessous, rapporte des déclarations plus directes sur la volonté d'utiliser le jeu sérieux : il était demandé aux participants de décrire à quel point ils souhaitent utiliser le jeu sérieux avec leurs élèves. Et cela à deux reprises : après l'exploration du jeu sérieux (étape 2) et après l'utilisation d'*APPLiQ* (étape 6).

alias	expertise TICE	Étape 2 : utiliser le jeu avec mes élèves (sur 4)	Étape 6 : utiliser le jeu avec mes élèves (sur 4)	Différence entre étapes 2 et 6 (augmentation adoption)
B	87	0	0	0
D	87	0		
E	40	2	4	2
F	94	1		
G	80	1		
J	34	2		
K	80	1	1	0
L	60	2		
M	87	2	2	0
N	67	3		
O	87	1	2	1
P	94	1		
Q	54	3	3	0
R	67	2	3	1
S	87	1		
T	67	2		
U	74	2		
V	40	3		
X	94	2	3	1
Y	94	3	3	0
Z	60	3		
AA	74	1		

**Tableau 13 :** Niveau d'adoption pour « *Les Cristaux d'Éhère* », exprimée par les participants à la fin de l'étape 2 et de l'étape 6.

L'analyse de ces déclarations permet de constater qu'aussi bien après l'étape 2 qu'après l'étape 6, la plupart des participants se disent prêts à utiliser le jeu

sérieux avec leurs élèves. Mais, à propos de l'hypothèse 1 nous nous intéressons plutôt à l'évolution de l'avis de ceux qui ont testé *APPLiq*. Leurs déclarations permettent de remarquer que l'effet d'*APPLiq* est mitigé puisque seuls 4 participants sur 9 déclarent qu'ils ont plus envie d'utiliser le jeu sérieux avec leurs élèves après l'utilisation d'*APPLiq* qu'avant. Pour les 5 autres participants, c'est le *statu quo*. Ainsi, d'après ces déclarations, *APPLiq* a des effets positifs sur l'adoption du jeu sérieux pour une minorité des participants ayant terminé l'expérimentation.

Les traces compilées dans le Tableau 14, ci-dessous, apportent d'autres éléments pour éprouver l'hypothèse 1. Ce tableau rassemble les déclarations des utilisateurs ayant fini l'expérimentation (étape 6) à propos d'une utilisation future d'*APPLiq*. Et cela, à partir de deux questions : la première, correspondant à la colonne A du tableau, demande aux participants s'ils souhaitent continuer à utiliser *Les Cristaux d'Éhère* avec ou sans leurs propres parcours (conçus avec *APPLiq*). La seconde question, correspondant aux autres colonnes du tableau, leur demande s'ils souhaitent utiliser le jeu sérieux dans le futur, avec ou sans *APPLiq*, mais aussi *APPLiq* associé à d'autres jeux sérieux.

alias	exper-tise TICE	A. Utiliser le jeu avec ou sans parcours personnalisés (sur 2)	B. Utiliser le jeu sérieux sans <i>APPLiq</i> (sur 3)	C. Utiliser le jeu sérieux avec <i>APPLiq</i> (sur 3)	D. Utiliser <i>APPLiq</i> avec d'autres jeux sérieux (sur 3)	E. Péréquation (C+D-B)
B	87	0	0	0	0	0
E	40	0	3	2	2	1
K	80	0	0	1	2	3
M	87	0	1	2	2	3
O	87	1	1	2	2	3
Q	54	2	2	2	2	2
R	67	0	2	0	1	-1
X	94	1	2	0	2	0
Y	94	1	3	2	2	1

**Tableau 14 :** Volonté déclarée par les participants d'utiliser *APPLiq* à l'avenir

Les résultats de la colonne A montrent que la majorité des participants déclarent qu'ils ne préfèrent pas utiliser le jeu sérieux avec leurs propres parcours (valeur nulle dans le tableau). Seuls 4 sur 9 déclarent qu'ils le feraient (valeur strictement positive). En mettant cette colonne en relation avec les informations contenues dans le Tableau 10 p.143 qui compile les traces sur les parcours produits par les participants, l'analyse permet de constater que les utilisateurs ayant créé des parcours vides (B et R) ne déclarent, bien entendu, pas vouloir utiliser des parcours personnalisés. D'ailleurs, dans une réponse libre, l'utilisateur R explique qu'il ne voit pas l'intérêt d'*APPLiq*, le jeu sérieux lui convenant tel qu'il est. Plus étonnant, les utilisateurs E et K, qui avaient de bons parcours créés et modifiés et des avis plutôt positifs à leur propos, déclarent eux-aussi ne pas vouloir utiliser le jeu sérieux avec leurs parcours personnalisés. Plus logiquement, les participants O, Q et Y aux

parcours valables (et qu'ils évaluent plutôt positivement) se déclarent susceptibles d'utiliser le jeu sérieux avec des parcours personnalisés.

Dans les colonnes qui suivent (B, C, D et la colonne E qui est une péréquation des trois précédentes), l'analyse des résultats permet de constater (colonne B) que la majorité des participants déclarent être susceptibles d'utiliser *Les Cristaux d'Éhère* sans *APPLiq* (scores strictement supérieurs à 1). Et certains avec conviction (3 correspondant à « *Sans aucun doute* » et 2 à « *Peut-être* »). Ceci est pondéré par la colonne C, correspondant à l'éventualité d'une utilisation du jeu sérieux accompagné d'*APPLiq*. Ces résultats permettent de constater que le participant B déclare ne pas souhaiter du tout continuer à utiliser *Les Cristaux d'Éhère* avec ou sans *APPLiq*. Tout comme le participant K (ce qui est aussi conforme aux déclarations placées dans Tableau 13 p.147). Pour les autres participants, l'analyse permet de remarquer qu'ils sont plus nombreux à déclarer vouloir utiliser le jeu sérieux avec *APPLiq* que sans, bien que ce soit avec une faible conviction (« *Peut-être* »). Le participant R qui a déclaré dans ses réponses libres qu'il ne voyait pas l'intérêt d'*APPLiq* pour *Les Cristaux d'Éhère* le confirme ici. Le participant X a fait le même type de déclaration.

La comparaison des colonnes A et B est plutôt encourageante vis-à-vis de l'hypothèse 1 (« *APPLiq* facilite l'adoption d'un jeu sérieux par des enseignants »). La colonne D est également encourageante. Elle correspond à l'éventualité d'utiliser *APPLiq* avec d'autres jeux sérieux que *Les Cristaux d'Éhère* (à noter qu'au cours de leur utilisation d'*APPLiq*, les participants ont pu voir et pour certains manipuler des parcours pédago-ludiques du jeu sérieux *Blockly Maze* décrit brièvement dans la sous-section IV.1.3 p.129). La colonne D montre que tous les participants, sauf B et R, déclarent « *Peut-être* » utiliser *APPLiq* avec un autre jeu sérieux à l'avenir. La colonne E, tente une péréquation des trois précédentes, de façon à donner une idée de l'engagement pour *APPLiq* que déclarent les participants. Cette péréquation montre qu'à part B, R et X, les participants se déclareraient futurs utilisateurs d'*APPLiq*.

Conclure sur l'hypothèse 1, et donc sur le rôle d'*APPLiq* dans l'adoption d'un jeu sérieux est plus difficile que de conclure sur les hypothèses 2 et 3 qui tendent pourtant à la conforter. Les analyses et les interprétations des traces qui portent sur cette hypothèse nous ont montré que les différences de déclarations sur l'adoption de *Les Cristaux d'Éhère* avant et après utilisation d'*APPLiq* (Tableau 13 p.147), et les déclarations sur l'envie de continuer à utiliser *APPLiq*, avec ou sans *Les Cristaux d'Éhère* (Tableau 14 p.148) sont plutôt positives vis-à-vis de l'hypothèse 1 : la plupart des participants déclarent vouloir continuer à utiliser *APPLiq*, et quant à l'adoption du jeu sérieux déclarée, *APPLiq* n'a jamais d'effet négatif. En revanche, les analyses montrent aussi que seuls certains participants ont une meilleure opinion des niveaux du jeu sérieux après l'utilisation d'*APPLiq* qu'avant (Tableau 12 p.146) et déclarent avoir plus envie d'utiliser le jeu sérieux avec des parcours personnalisés que sans (Tableau 14 p.148).

#### **IV.4.4. Résultats portant sur les hypothèses secondaires 4 et 5**

Cette expérimentation a été aussi l'occasion de glaner d'autres informations. D'une part sur le jeu sérieux lui-même, mais ces résultats ne seront pas relatés ici, d'autre part sur deux hypothèses secondaires qui portent sur les fonctionnalités supplémentaires à proposer avec *APPLiQ*. Les deux hypothèses 4 et 5 sont éprouvées par le biais de questions soumises avec le questionnaire final de l'expérimentation (étape 6).

La mise à l'épreuve de l'hypothèse 4 : « *Les enseignants utilisent des fonctions de partage et d'évaluation collaborative des éléments du jeu sérieux proposés par APPLiQ* », avait pour but de tester l'appétence des participants pour les fonctions de partage de type web 2.0 dans *APPLiQ*. Compte tenu de la durée de l'expérimentation, de son faible effectif et de ses conditions plutôt artificielles, les résultats restent peu indicatifs. Ainsi les participants revendiquent avoir utilisé les fonctions de notation (pour 6 des 9 qui ont répondu à ce questionnaire). Mais, dans les faits, ils ne les ont utilisées qu'une seule fois chacun (alors qu'ils pouvaient les utiliser pour noter les activités, les jeux sérieux et les parcours). De même, un seul participant revendique la publication de son parcours (ce qu'il a effectivement fait). Il était prévisible qu'il serait difficile de statuer sur cette hypothèse. Cependant, il faut remarquer que ces fonctions (plutôt discrètes, bien que signalées dans la documentation fournie) ont été utilisées par certains participants. Il faudra compléter cette première observation par des expérimentations sur le long terme et avec un effectif conséquent pour être plus conclusif sur cette hypothèse.

La mise à l'épreuve de l'hypothèse 5 : « *Les enseignants préfèrent choisir des activités par le biais des objectifs pédagogiques qu'elles permettent de travailler* », avait pour but de valider les choix d'interface d'*APPLiQ*. En effet, son interface est actuellement centrée sur les objectifs pédagogiques, c'est-à-dire que le choix des activités se fait grâce à des filtres sur ces objectifs travaillés ou prérequis (voir les descriptions dans les sous-sections I.2 p.104 et I.6 p.112). Ce choix était inspiré d'outils comme *LAMS* [Dalziel, 2008]. Les participants déclarent au contraire rechercher les activités par leur nom (une fois qu'ils sont capables de les reconnaître) plutôt que par l'intermédiaire des filtres sur les objectifs pédagogiques : 4 d'entre-eux revendiquent avoir utilisé un filtrage par objectifs pédagogiques, et 6 revendiquent d'avoir choisi directement leurs activités. Par conséquent, il faudra retravailler l'interface d'*APPLiQ* pour faciliter la sélection directe des activités aux utilisateurs.

#### **IV.4.5. Synthèse**

Bien que l'effectif soit plutôt faible et à la fois variable selon les indicateurs considérés, mais aussi que nombre d'indicateurs reposent sur des déclarations, les résultats apportent des éclairages qui informent la conception d'*APPLiQ* et de *MoPPLiQ*.

L'analyse des traces des participants nous montre que la représentation graphique du modèle *MoPPLiQ* les aide à comprendre le scénario du jeu

sérieux (hypothèse 3). L'analyse des parcours qu'ils ont produits montre qu'*APPLiq* permet la production de parcours péda-go-ludiques qui semblent utilisables avec des élèves, bien qu'en l'absence d'outils d'évaluation, leurs auteurs n'en paraissent pas toujours convaincus (hypothèse 2). Par ces interprétations des résultats concernant les hypothèses 2 et 3, nous pouvons conclure qu'*APPLiq* participe probablement à l'appropriation d'un jeu sérieux, en améliorant sa compréhension et sa maîtrise par les enseignants, mais aussi en leur donnant le moyen d'en fournir une version adaptée et fonctionnelle.

Les résultats issus de l'évolution des déclarations des participants sur l'acceptabilité du jeu sérieux testé sont plus difficiles à interpréter (hypothèse 1). Afin d'éclaircir cela, il faudra probablement mener une expérimentation de plus long terme avec un jeu sérieux au prototype plus avancé que celui de *Les Cristaux d'Éhère* que nous avons utilisé.

Ces résultats ont aussi été la source de nouvelles perspectives pour *APPLiq*. Ainsi, il faudra travailler sur les fonctionnalités de gestion des incohérences pour faciliter le travail des enseignants, proposer des outils pour évaluer ses propres parcours, améliorer la sélection des activités, introduire les manipulations directes (glisser-déposer), mais aussi étudier les nouvelles fonctionnalités proposées par les participants de l'expérimentation comme l'introduction d'une *timeline* des objectifs pédagogiques d'un parcours.

---

## ***V. Conclusion sur l'adaptation de la scénarisation des jeux sérieux au contexte***

---

Les chapitres 3 et 4 abordent la problématique générale de cette thèse sur la conception des jeux sérieux sous l'angle de la conception dans l'usage par les enseignants. Les deux questions de recherche étudiées dans ces chapitres s'inscrivent dans une démarche d'ingénierie dirigée par les modèles. Ainsi, le chapitre 3 a présenté *MoPPLiq*, qui est un modèle formel et opérationnalisable de la scénarisation des jeux sérieux à étapes, et qui est le socle d'*APPLiq*, l'outil auteur qui est présenté dans ce chapitre.

*APPLiq* est une application web qui apporte aux enseignants quatre fonctionnalités principales. (1) Cet outil auteur génère une représentation graphique interactive des instances du modèle *MoPPLiq* représentant les parcours péda-go-ludiques des jeux sérieux. (2) Il incorpore des interfaces, centrées sur les objectifs pédagogiques, qui permettent de manipuler ces parcours, pour les adapter au contexte pédagogique des utilisateurs. (3) Il propose un système de vérification de la cohérence pédagogique et ludique des parcours, ainsi qu'une compensation automatisée des incohérences ludiques. (4) Il propose des fonctions de partage des parcours modifiés.

*APPLiq* a pu être évalué auprès d'utilisateurs au moyen de jeux sérieux spécialement conçus et adaptés pour implémenter le modèle *MoPPLiq*. L'expérimentation principale a été menée auprès de plus d'une vingtaine d'enseignants pendant plusieurs semaines. Elle a montré que la représentation graphique des parcours péda-go-ludiques proposée par *APPLiq* améliore la compréhension des jeux sérieux par les enseignants et participe à leur instrumentation. L'expérimentation a aussi montré qu'*APPLiq* permet aux enseignants de créer et modifier des parcours péda-go-ludiques de façon à ce qu'ils soient cohérents et utilisables en classe et participe ainsi à l'instrumentalisation des jeux sérieux. Ces résultats soulignent que par le biais

de l'appropriation, *APPLiq* et *MoPPLiq* sont des contributions qui pourraient favoriser l'adoption de jeux sérieux par les enseignants.



# 5

## Chapitre 5. Conclusion et perspectives



Ce chapitre présente dans une première section une vue synthétique de la problématique et des questions de recherche abordées dans cette thèse. Un bilan de mes contributions est dressé dans la seconde section, et la troisième section aborde les limites dessinées par les résultats obtenus et les perspectives de recherches qui sont envisagées.

## I. Objectifs de recherche

---

Les travaux présentés dans cette thèse ont pour objectif à long terme de favoriser l'appropriation et l'adoption des jeux sérieux par les enseignants. Ces travaux se situent dans la problématique de la conception multi-expertise des jeux sérieux, et ce, tant dans les phases initiales qui précèdent la publication, que dans les phases d'utilisation par les enseignants et les formateurs. L'approche choisie pour traiter cette problématique est celle du *meta-design* et de la conception participative. Cette approche fait émerger trois questions de recherche qui ont été traitées.

En premier lieu, il s'agissait de définir un cadre conceptuel pour permettre une conception participative des jeux sérieux, facilitant l'intégration des enseignants et des formateurs, et pouvant servir d'objet-frontière.

Les deux autres questions de recherche traitent des moyens de faciliter l'instrumentalisation et l'instrumentation des jeux sérieux par les enseignants, et donc de les replacer dans la position de co-concepteurs dans l'usage. La première de ces questions de recherche s'intéresse à la conception d'un modèle et d'un méta-modèle capables de décrire la scénarisation des jeux sérieux décomposables en étapes, avec le but de fournir une représentation compréhensible et manipulable pour les enseignants. La seconde de ces questions de recherche s'intéresse à la conception d'un outil auteur implémentant ce modèle de scénarisation et permettant aux enseignants de l'adapter à leur contexte pédagogique, sans pour autant faire émerger d'incohérences, en particulier ludiques, c'est-à-dire en veillant à ce que le jeu sérieux continue à être jouable après ces modifications.

La section suivante présente une synthèse des résultats des travaux sur ces trois questions de recherche.

## II. Contributions

---

Ma thèse apporte trois contributions principales. Du point de vue de la conception participative, les travaux menés ont permis la mise au point d'un cadre conceptuel et d'outils méthodologiques associés. Il s'agit d'une part des 6 facettes de la conception des jeux sérieux, et d'autre part de la bibliothèque de patrons de conception qui l'accompagne. Les travaux présentés dans le Chapitre 2. ont confirmé qu'il existe un réel besoin pour des outils de ce genre, ce qui a motivé le développement des 6 facettes de la conception des jeux sérieux à partir d'un travail de synthèse sur les recherches des domaines des EIAH, des jeux vidéo et des jeux sérieux, ainsi qu'à partir de l'expérience de

l'équipe MOCAH et de ses partenaires dans la conception des jeux sérieux. C'est dans une même démarche ascendante qu'ont été rédigés les patrons de conceptions qui accompagnent les 6 facettes. Les 6 facettes renseignent les concepteurs sur les différents aspects de la conception des jeux sérieux en proposant une structure globale, des problématiques générales et les solutions communes. Les patrons de conception précisent ces problématiques en exemplifiant les bonnes pratiques afin de proposer un vocabulaire commun que les différents types d'interlocuteurs (experts ou non) pourront utiliser.

Nos mises à l'épreuve de ces deux outils ont montré, d'une part que les patrons de conception permettent d'aider les experts pédagogiques (notamment des enseignants) à comprendre les buts et les méthodes des experts ludiques (notamment *game designers*), et ainsi à être partie prenante de travaux de conception de jeux sérieux. D'autre part, nous avons montré que l'association des 6 facettes et de notre bibliothèque de patrons de conception facilite la collaboration d'équipes pluridisciplinaires, en particulier sur des thématiques transversales de la conception de jeux sérieux.

Ainsi, les 6 facettes de la conception des jeux sérieux et les patrons de conception ont favorisé l'instauration d'une conception participative, qui a facilité les travaux dans plusieurs projets de jeux sérieux.

Les travaux présentés dans cette thèse ont aussi exploré la piste du *meta-design* dans les chapitres 3 et 4. Cette exploration est motivée par une étude, présentée dans le Chapitre 3., et qui a montré la demande des enseignants pour des outils d'adaptation de la scénarisation des jeux sérieux, c'est-à-dire de co-conception dans l'usage. À la suite de la présentation de cette étude, un état de l'art des modèles et des outils auteurs d'EIAH, jeux vidéo et jeux sérieux a été présenté et a servi de fondement aux deux contributions proposées : *MoPPLiq* et *APPLiq*.

*MoPPLiq* est un modèle à la fois formel et graphique, conçu pour représenter la scénarisation des jeux sérieux à étapes, de façon à la rendre compréhensible et manipulable. *APPLiq* est un outil auteur destiné aux enseignants, pour manipuler des modèles *MoPPLiq*, tout en maintenant la cohérence du scénario grâce à un système de vérification et de compensation automatique de la planification.

La mise à l'épreuve de *MoPPLiq* a montré que ce modèle est suffisamment expressif pour permettre de représenter la plupart des jeux sérieux à étapes. Par ailleurs, l'expérimentation mise en œuvre autour d'*APPLiq* a montré que la représentation graphique de *MoPPLiq* facilite la compréhension du scénario par les enseignants. Cette expérimentation a aussi montré qu'*APPLiq* permettait aux enseignants de modifier les scénarios des jeux sérieux, en produisant de nouveaux scénarios cohérents et jouables que les enseignants-auteurs déclarent utilisables avec des élèves. Par ailleurs, l'étude des scénarios conçus par ceux d'entre-eux qui ont participé le plus longuement à l'expérimentation, montre que les manipulations d'un jeu sérieux dans *APPLiq* augmentent la compréhension et la maîtrise du scénario par les enseignants, ce qui participe probablement à l'appropriation, comme le prévoit la genèse instrumentale [Rabardel, 1995].

Ces réalisations et leur mise à l'épreuve me semblent conforter la thèse ici défendue concernant l'appropriation des jeux sérieux par les enseignants : les deux contributions proposées, d'une part le *meta-design* comme approche de conception participative et dans l'usage, d'autre part la mise en place d'outils logiciels et conceptuels facilitant la conception par les parties prenantes.

### III. Limites et perspectives

Les évaluations des travaux présentés dans cette thèse ont permis d'en identifier quelques limites et ouvrent des perspectives de recherche.

Les évaluations des patrons de conception ont montré d'une part qu'ils facilitaient la collaboration des équipes pluridisciplinaires, notamment en permettant d'équilibrer les aspects ludiques et pédagogiques, et d'autre part qu'ils permettaient aux enseignants de comprendre les besoins, les méthodes et le vocabulaire liés à la conception des jeux sérieux. Toutefois, ces évaluations ont aussi montré que la bibliothèque de patrons de conception était faible pour permettre la réciproque, c'est-à-dire que les experts ludiques comprennent les besoins, les méthodes et le vocabulaire des experts pédagogiques. C'est pourquoi un travail d'enrichissement de la bibliothèque sur les aspects pédagogiques est envisagé, notamment en s'appuyant, là aussi, sur une démarche de conception participative grâce à l'ouverture de la bibliothèque en ligne aux évaluations, commentaires et contributions extérieures.

Comme le montrent les travaux de [Marfisi-Schottman, 2012 ; Marfisi-Schottman & George, 2012] avec les 6 facettes de la conception des jeux sérieux, elles constituent un support efficace pour l'évaluation de jeux sérieux. Cette approche peut-être développée en construisant des grilles destinées à évaluer la conception des jeux sérieux, à travers des valences pour chacune des 6 facettes.

S'agissant de *MoPPLiq* et d'*APPLiq*, leurs évaluations ont également montré quelques limites. Si *MoPPLiq* s'est montré capable de représenter la scénarisation de la plupart des jeux sérieux à étapes intégralement découpées en composants discrets, il ne peut, en l'état actuel, modéliser certains jeux sérieux comportant des éléments continus qu'il pourrait décrire grâce à de nouveaux travaux dans cette direction. De plus, lorsque les jeux sérieux comportent un grand nombre d'étapes, et un grand nombre d'états d'entrée et de sortie, la lisibilité de ces graphes peut être difficile. L'une des perspectives de recherche la plus importante concernant *MoPPLiq* est d'explorer la piste des activités gigognes, contenant des parcours pédago-ludiques, à l'instar de ce qui se fait dans d'autres outils auteurs comme *LAMS* [Dalziel, 2008]

L'expérimentation menée avec le prototype d'*APPLiq* a permis de mettre en évidence que cet outil auteur permettait aux enseignants de produire des scénarios de jeux sérieux cohérents et fonctionnels, adaptés à leurs besoins. Cette expérimentation a été très utile pour informer la conception d'*APPLiq* et mettre en évidence des pistes d'amélioration fonctionnelles et d'interface. Ainsi, l'interface pourrait comporter de modules modifiés (construction du graphe, gestion des incohérences) et sur de nouvelles fonctionnalités comme

des vues différentes permettant aux enseignants de mieux cerner et évaluer les scénarios qu'ils construisent.

D'autres perspectives plus ambitieuses se fondent sur *MoPPLiq* et sur la démarche d'ingénierie dirigée par les modèles. En poursuivant l'approche du *meta-design* pour les jeux sérieux, et en synergie avec d'autres travaux de l'équipe MOCAH, ces perspectives sont de développer de nouveaux modèles, méta-modèles et outils autour de *MoPPLiq* pour faciliter la conception initiale et le prototypage des jeux sérieux avec le *framework Genome*, et faciliter la conception de systèmes de suivi de l'apprenant et de planification automatique de la scénarisation. Dans ces perspectives, les contributions portées par cette thèse sont une première pièce d'un ensemble de recherches plus vaste contribuant à favoriser l'adoption des jeux sérieux par une approche *meta-design*.

# 6

## Chapitre 6. Bibliographie



- [Aldrich, 2009] Aldrich C. *The complete guide to simulations and serious games: how the most valuable content will be created in the age beyond Gutenberg to Google*. San Francisco, CA, USA : John Wiley and Sons, 2009. 578 p. ISBN : 9780470462737.
- [Alexander, Ishikawa, & Silverstein, 1977] Alexander C., Ishikawa S., Silverstein M. *A pattern language*. [s.l.] : Oxford University Press US, 1977. 1217 p. ISBN : 0195019199, 9780195019193.
- [Aponte, Levieux, & Natkin, 2011] Aponte M.-V., Levieux G., Natkin S. « Measuring the level of difficulty in single player video games ». *Entertainment Computing*. 2011,. Vol. 2, n°4, p. 205-213.
- [Barwood & Falstein, 2001] Barwood H., Falstein N. « The 400 Project ». [s.l.] : [s.n.], 2001.
- [Battista, Eades, Tamassia, & Tollis, 1994] Battista G. D., Eades P., Tamassia R., Tollis I. G. « Algorithms for drawing graphs: an annotated bibliography ». *Computational Geometry*. 1994,. Vol. 4, n°5, p. 235–282.
- [Beaudouin-Lafon, 2000] Beaudouin-Lafon M. « Instrumental interaction: an interaction model for designing post-WIMP user interfaces ». In : *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. [s.l.] : ACM, 2000. p. 446–453.
- [Bergin, 2006] Bergin J. « Active learning and feedback patterns: version 4 ». In : *Proceedings of the 2006 conference on Pattern languages of programs*. Portland, Oregon : ACM, 2006. p. 1-6. ISBN : 978-1-60558-372-3.
- [Björk & Holopainen, 2005] Björk S., Holopainen J. *Patterns in game design*. [s.l.] : Cengage Learning, 2005. 452 p. ISBN : 1584503548, 9781584503545.
- [Bowker & Star, 1999] Bowker G. C., Star S. L. *Sorting things out: Classification and its consequences*. [s.l.] : MIT press, 1999.
- [Bra & Calvi, 1998] Bra P. D., Calvi L. « AHA! An open Adaptive Hypermedia Architecture ». *New Review of Hypermedia and Multimedia*. 1998,. Vol. 4, n°1, p. 115-139.
- [Brusilovsky, 1996] Brusilovsky P. « Methods and techniques of adaptive hypermedia ». *User Modeling and User-Adapted Interaction*. 1996,. Vol. 6, n°2, p. 87-129.
- [Burgos, Moreno-Ger, Sierra, Fernández-Manjón, Specht, & Koper, 2008] Burgos D., Moreno-Ger P., Sierra J. L., Fernández-Manjón B., Specht M., Koper R. « Building Adaptive Game-Based Learning Resources: The Marriage of IMS Learning Design and <e-Adventure> ». *Simulation & Gaming*. 2008,. Vol. 39, p. 414–431.
- [Capdevila Ibáñez, 2013] Capdevila Ibáñez B. *Serious game architecture and design: modular component-based data-driven entity system framework to support systemic modeling and design in agile serious game developments*. Thèse de Doctorat en Informatique. Paris : Université Pierre et Marie Curie (UPMC), 2013.
- [Capdevila Ibáñez, Boudier, & Labat, 2009] Capdevila Ibáñez B., Boudier V., Labat J.-M. « Knowledge Management Approach to Support a Serious Game Development ». In : *Proceedings of the 2009 Ninth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies. 9th IEEE ICALT*. Riga, Latvia : IEEE Computer Society, 2009. p. 420-422. ISBN : 978-0-7695-3711-5.
- [Capdevila Ibáñez, Marne, & Labat, 2011] Capdevila Ibáñez B., Marne B., Labat J. M. « Conceptual and Technical Frameworks for Serious Games ». In : *Proceedings of the 5th European Conference on Games Based Learning. 5th European Conference on Games Based Learning*

- Learning the National and Kapodistrian University of Athens, Greece, 20-21 October, 2011.*  
Reading, UK : Academic Publishing Limited, 2011. p. 81-87. ISBN : 978-1-908272-18-8.
- [Caron, 2007] Caron P.-A. *Ingénierie dirigée par les modèles pour la construction de dispositifs pédagogiques sur des plateformes de formation.* [s.l.] : Université des Sciences et Technologie de Lille-Lille I, 2007.
- [Clements, Pesner, & Shepherd, 2009] Clements P., Pesner J., Shepherd J. « The teaching of immunology using educational: gaming paradigms ». In : *Proceedings of the 47th Annual Southeast Regional Conference.* Clemson, South Carolina : ACM, 2009. p. 1-4. ISBN : 978-1-60558-421-8.
- [Dalziel, 2008] Dalziel J. « Using LAMS Version 2 for a game-based Learning Design ». *Journal of Interactive Media in Education.* 19 décembre 2008,. Vol. 2008, n°2,.
- [Delozanne, Le Calvez, Merceron, & Labat, 2007] Delozanne E., Le Calvez F., Merceron A., Labat J.-M. « Design Patterns en EIAH : vers un langage de Patterns pour l'évaluation des apprenants ». *STICEF.* 2007,. Vol. 14,.
- [Devedzic & Harrer, 2005] Devedzic V., Harrer A. « Software Patterns in ITS Architectures ». *Int. J. Artif. Intell. Ed.* 2005,. Vol. 15, n°2, p. 63-94.
- [Djaouti, 2011] Djaouti D. *Serious Game Design : considérations théoriques et techniques sur la création de jeux vidéo à vocation utilitaire.* [s.l.] : [s.n.], 2011.
- [Djaouti, Alvarez, Jessel, Methel, & Molinier, 2008] Djaouti D., Alvarez J., Jessel J.-P., Methel G., Molinier P. « A gameplay definition through videogame classification ». *Int. J. Comput. Games Technol.* janvier 2008,. Vol. 2008, p. 4:1-4:7.
- [Dragicevic & Fekete, 2004] Dragicevic P., Fekete J.-D. « Support for input adaptability in the ICON toolkit ». In : *Proceedings of the 6th international conference on Multimodal interfaces.* [s.l.] : ACM, 2004. p. 212-219.
- [Egenfeldt-Nielsen, 2006] Egenfeldt-Nielsen S. « Overview of research on the educational use of video games ». *Digital kompetanse.* 2006,. Vol. 1, n°3, p. 184-213.
- [Emin, Pernin, & Guéraud, 2011] Emin V., Pernin J. P., Guéraud V. « Scénarisation pédagogique dirigée par les intentions ». *Revue Sticef. org.* 2011,. Vol. 18, 2011,.
- [Fabricatore, 2000] Fabricatore C. « Learning and Videogames: an Unexploited Synergy ». In : *2000 AECT National Convention - a recap. 2000 AECT National Convention.* Long Beach, CA : Secaucus, NJ : Springer Science + Business Media, 2000.
- [Favre, Estublier, & Blay-Fornarino, 2006] Favre J.-M., Estublier J., Blay-Fornarino M. *L'ingénierie dirigée par les modèles. Au-delà du MDA.* Hermès Lavoisier. Paris, France : [s.n.], 2006. 226 p.(Information - Commande - Communication/Informatique et systèmes d'information). ISBN : 2-7462-1213-7.
- [Fischer, 2000] Fischer G. « Symmetry of ignorance, social creativity, and meta-design ». *Knowledge-Based Systems.* 2000,. Vol. 13, n°7, p. 527-537.
- [Fischer, Giaccardi, Ye, Sutcliffe, & Mehandjiev, 2004] Fischer G., Giaccardi E., Ye Y., Sutcliffe A. G., Mehandjiev N. « Meta-design: a manifesto for end-user development ». *Communications of the ACM.* 2004,. Vol. 47, n°9, p. 33-37.
- [Fischer & Herrmann, 2011] Fischer G., Herrmann T. « Socio-Technical Systems: A Meta-Design Perspective ». *IJSKD.* 2011,. Vol. 3, n°1, p. 33.

- [Fruchterman & Reingold, 1991] Fruchterman T. M., Reingold E. M. « Graph drawing by force-directed placement ». *Software: Practice and experience*. 1991,. Vol. 21, n°11, p. 1129–1164.
- [Göbel, Salvatore, & Konrad, 2008] Göbel S., Salvatore L., Konrad R. « StoryTec: A Digital Storytelling Platform for the Authoring and Experiencing of Interactive and Non-Linear Stories ». In : *2008 International Conference on Automated Solutions for Cross Media Content and Multi-Channel Distribution. 2008 International Conference on Automated Solutions for Cross Media Content and Multi-Channel Distribution (AXMEDIS)*. Florence, Italy : [s.n.], 2008. p. 103-110.
- [Gee, 2007] Gee J. P. *Good video games + good learning: collected essays on video games, learning, and literacy*. Peter Lang Pub. Inc. New York, NY, USA : Peter Lang, 2007. 210 p. ISBN : 9780820497037.
- [Hernández-Leo, Villasclaras-Fernández, Jorrín-Abellán, Asensio-Pérez, Dimitriadis, Ruiz-Requies, & Rubia-Avi, 2006] Hernández-Leo D., Villasclaras-Fernández E., Jorrín-Abellán I., Asensio-Pérez J., Dimitriadis Y., Ruiz-Requies I., Rubia-Avi B. « Collage, a Collaborative Learning Design Editor Based on Patterns ». *Educational Technology & Society*. janvier 2006,. Vol. 9, n°1, p. 58-71.
- [Kearney & Pivec, 2007] Kearney P. R., Pivec M. « Recursive Loops of Game-Based Learning: a Conceptual model. ». In : *Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications 2007. EDMEDIA 2007*. Vancouver, Canada : AACE, 2007. p. 2546-2553.
- [Kelle, Klemke, & Specht, 2011] Kelle S., Klemke R., Specht M. « Design patterns for learning games ». *International Journal of Technology Enhanced Learning*. 2011,. Vol. 3, n°6, p. 555 - 569.
- [Kiili, 2007] Kiili K. « Foundation for problem-based gaming ». *British Journal of Educational Technology*. 2007,. Vol. 38, n°3, p. 394-404.
- [Koper & Olivier, 2004] Koper R., Olivier B. « Representing the Learning Design of Units of Learning ». *Educational Technology & Society*. 2004,. Vol. 7, n°3, p. 97-111.
- [Lejeune, 2004] Lejeune A. « IMS Learning Design. Etude d'un langage de modélisation pédagogique ». *Distances et savoirs*. décembre 2004,. Vol. 2, n°4, p. 409-450.
- [Levieux, 2011] Levieux G. *Mesure de la difficulté dans les jeux vidéo*. Informatique / Multimedia. Paris, France : CNAM, 2011. 214 p.
- [Malone, 1981] Malone T. W. « Toward a theory of intrinsically motivating instruction ». *Cognitive science*. 1981,. Vol. 5, n°4, p. 333–369.
- [Marchiori, 2010] Marchiori E. J. *WEEV: A Multidisciplinary Approach to Educational Game Development*. Master Thesis. Madrid, Spain : Complutense University at Madrid, 2010. 179 p.
- [Marfisi-Schottman, 2012] Marfisi-Schottman I. *Méthodologie, modèles et outils pour la conception de Learning Games*. Thèse de Doctorat en Informatique. Lyon, France : INSA de Lyon, 2012. 339 p.
- [Marfisi-Schottman & George, 2012] Marfisi-Schottman I., George S. « Comment évaluer la qualité d'un Learning Game pendant sa conception? ». In : *Actes du 8ème Colloque Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement. TICE 2012*. Lyon, France : [s.n.], 2012. p. 80-90. ISBN : 978-2-9813635-0-3.

- [Marfisi-Schottman, George, & Frank, 2010] Marfisi-Schottman I., George S., Frank T.-B. « Tools and Methods for Efficiently Designing Serious Games ». In : *Proceedings of ECGBL 2010 The 4th European Conference on Games Based Learning. 4th ECGBL*. Danish School of Education Aarhus University, Copenhagen, Denmark : [s.n.], 2010. p. 226-234.
- [Mariais, 2012] Mariais C. *Modèles pour la conception de Learning Role-Playing Games en formation professionnelle*. Thèse de Doctorat en Informatique. [s.l.] : Université de Grenoble, 2012.
- [Marne, 2010] Marne B. *Évaluation des outils auteurs de jeux sérieux, sans programmation*. Paris : Lip6-UPMC, 2010.
- [Marne, Huynh-Kim-Bang, & Labat, 2011] Marne B., Huynh-Kim-Bang B., Labat J.-M. « Articuler motivation et apprentissage grâce aux facettes du jeu sérieux ». In : *Actes de la conférence EIAH 2011. Conférence EIAH 2011 (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain)*. Mons, Belgique : Université de Mons, 2011. p. 69-80. ISBN : 978-2-87325-061-4.
- [Marne & Labat, 2012] Marne B., Labat J.-M. « Implémentation de patrons de conception pour l'adaptation des parcours pédaogo-ludiques dans les jeux sérieux ». In : *Actes du 8ème Colloque Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement. TICE 2012*. Lyon, France : [s.n.], 2012. p. 69-79. ISBN : 978-2-9813635-0-3.
- [Marne, Wisdom, Huynh-Kim-Bang, & Labat, 2012a] Marne B., Wisdom J., Huynh-Kim-Bang B., Labat J.-M. « A Design Pattern Library for Mutual Understanding and Cooperation in Serious Game Design ». In : *Proceedings of the 11th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS 2012). 11th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS 2012)*. [s.l.] : Springer Berlin / Heidelberg, 2012. p. 135-140. ISBN : 978-3-642-30949-6.
- [Marne, Wisdom, Huynh-Kim-Bang, & Labat, 2012b] Marne B., Wisdom J., Huynh-Kim-Bang B., Labat J.-M. « The Six Facets of Serious Game Design: A Methodology Enhanced by Our Design Pattern Library ». In : Ravenscroft A, Lindstaedt S, Kloos C, Hernández-Leo D [éd.]. *21st Century Learning for 21st Century Skills. Seventh European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2012)*. Saarbrücken, Germany : Springer Berlin / Heidelberg, 2012. p. 208-221. ISBN : 978-3-642-33262-3.
- [Mehm, 2010] Mehm F. « Authoring serious games ». In : *Proceedings of the Fifth International Conference on the Foundations of Digital Games*. New York, NY, USA : ACM, 2010. p. 271-273. ISBN : 978-1-60558-937-4.
- [Meszaros & Doble, 1997] Meszaros G., Doble J. « A pattern language for pattern writing ». In : *Pattern Languages of Program Design-3*. Boston, MA, USA : Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1997. p. 529-574. ISBN : 0-201-31011-2.
- [Moreno-Ger, Martinez-Ortiz, Sierra, & Fernández-Manjón, 2006] Moreno-Ger P., Martinez-Ortiz I., Sierra J. L., Fernández-Manjón B. « Language-Driven Development of Videogames: The <e-Game> Experience ». In : *Entertainment Computing - ICEC 2006: Proceedings (Lecture Notes in Computer Science ... Applications, incl. Internet/Web, and HCI). 5th International Conference in Entertainment Computing (ICEC 2006)*. Cambridge, UK : Springer, 2006. ISBN : 9783540452591.
- [Muller, 2003] Muller M. J. « Participatory design: the third space in HCI ». In : Jacko JA, Sears A [éd.]. *The human-computer interaction handbook*. Hillsdale, NJ, USA : L. Erlbaum Associates Inc., 2003. p. 1051-1068. ISBN : 0-8058-3838-4.
- [Murray, 1999] Murray T. « Authoring Intelligent Tutoring Systems: An Analysis of the State of the

- Art ». *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. 1999,. Vol. 10, n°1, p. 98–129.
- [Murray, 2003] Murray T. « An Overview of Intelligent Tutoring System Authoring Tools: Updated Analysis of the State of the Art ». In : *Authoring Tools for Advanced Technology Learning Environments*. Pays-Bas : Dordrecht ; Boston ; London : Kluwer Academic Publishers, cop. 2003, 2003. p. 491–544. ISBN : 978-1402017728.
- [Namioka & Schuler, 1993] Namioka A., Schuler D. *Participatory design: Principles and practices*. New Jersey, USA : Hillsdale, Lawrence Earlbaum, NJ, 1993. 317 p.
- [Natkin, 2004] Natkin S. *Jeux vidéo et médias du XXIe siècle*. Paris : Vuibert, 2004. 112 p. ISBN : 2711748448, 9782711748440.
- [Paquette, Crevier, & Aubin, 1997] Paquette G., Crevier F., Aubin C. « Méthode d'ingénierie d'un système d'apprentissage (MISA) ». *Revue Informations In Cognito*. 1997,. Vol. 8, p. 37–52.
- [Paquette, Léonard, Lundgren-Cayrol, Mihaila, & Gareau, 2006] Paquette G., Léonard M., Lundgren-Cayrol K., Mihaila S., Gareau D. « Learning Design based on Graphical Knowledge-Modelling ». *Journal of Educational Technology and Society*. 2006,. Vol. 9, n°1, p. 97-112.
- [Paris Avgeriou, Andreas Papasalouros, Symeon Retalis, & Manolis Skordalakis, 2003] Paris Avgeriou, Andreas Papasalouros, Symeon Retalis, Manolis Skordalakis. *Towards a Pattern Language for Learning Management Systems*. 2003,.
- [Plass & Homer, 2009] Plass J. L., Homer B. D. « Educational Game Design Pattern Candidates ». *Journal of Research in Science Teaching*. juin 2009,. Vol. 44, p. 133–153.
- [Rabardel, 1995] Rabardel P. *Les hommes et les technologies : une approche cognitive des instruments contemporains*. Paris, France : Armand Colin, 1995. 239 p.(U. Série Psychologie). ISBN : 2-200-21569-X.
- [Resnick, Maloney, Monroy-Hernández, Rusk, Eastmond, Brennan, Millner, Rosenbaum, Silver, Silverman, & Kafai, 2009] Resnick M., Maloney J., Monroy-Hernández A., Rusk N., Eastmond E., Brennan K., Millner A., Rosenbaum E., Silver J., Silverman B., Kafai Y. « Scratch: Programming for All ». *Communications of the ACM*. novembre 2009,. Vol. 52, n°11, p. 60–67.
- [Ryan, Costello, & Stapleton, 2012] Ryan M., Costello B., Stapleton A. « Deep Learning Games through the Lens of the Toy ». In : *Meaningful Play 2012. Meaningful Play 2012*. East Lansing, USA : [s.n.], 2012. p. 1-29.
- [Schell, 2008] Schell J. *The Art of Game Design: A book of lenses*. 1<sup>re</sup> éd.[s.l.] : Morgan Kaufmann, 2008. 520 p. ISBN : 0123694965.
- [Tchounikine, 2002] Tchounikine P. « Pour une ingénierie des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain ». *Revue I3 information–interaction–intelligence*. 2002,. Vol. 2, p. 1.
- [Yusoff, 2010] Yusoff A. *A Conceptual Framework for Serious Games and its Validation*. Thesis. Southampton : University Of Southampton, 2010. 196 p.
- [Yusoff, Crowder, Gilbert, & Wills, 2009] Yusoff A., Crowder R., Gilbert L., Wills G. « A Conceptual Framework for Serious Games ». In : *Proceedings of the 2009 Ninth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies. 9th IEEE ICALT*. Riga, Latvia : IEEE Computer Society, 2009. p. 21-23. ISBN : 978-0-7695-3711-5.



# 7

## Chapitre 7. Annexes

# Sommaire des Annexes

<b>Chapitre 7. Annexes.....</b>	<b>169</b>
I. Fiche récapitulative du langage MOT.....	171
II. Description du jeu sérieux « Les Cristaux d'Éhère ».....	172
III. Description du jeu sérieux « Défenses Immunitaires ».....	174
III.1. Processus de conception et de développement.....	174
III.2. Description du jeu sérieux.....	175
IV. Objectifs pédagogiques du jeu sérieux « Défenses Immunitaires ».....	177
V. Éléments de la simulation des défenses de l'organisme du jeu sérieux « Défenses Immunitaires ».....	179
V.1. Variables dynamiques :.....	179
V.1.1. La santé :.....	179
V.1.2. L'argent :.....	179
V.1.3. Les couleurs :.....	179
V.2. Les microbes (« ennemis ») :.....	180
V.2.1. Les bactéries :.....	180
V.2.2. Les virus :.....	180
V.3. Les défenses :.....	180
V.3.1. Défenses de type « tour » :.....	180
a) Les cellules de cicatrisation :.....	180
b) Les leucocytes macrophages :.....	181
c) Les leucocytes de reconnaissance :.....	181
d) Les leucocytes Lymphocytes B :.....	181
e) Les antibiotiques :.....	182
f) Les antiviraux :.....	182
V.3.2. Défenses de type « globale » :.....	182
a) Les leucocytes Lymphocyte T :.....	182
b) Les antiseptiques :.....	182
c) Thérapie génique antibactérienne :.....	183
d) Le Vaccin :.....	183
V.4. La recherche médicale :.....	183
VI. Diagramme complet du schéma XML de MoPPLiq.....	184
VII. Schéma XML de MoPPLiq.....	185

# I. Fiche récapitulative du langage MOT

## Formuler avec MOT

MOT est une méthode graphique pour représenter les connaissances. Il utilise des objets ou *unités de connaissance* représentés par des boîtes sur le graphique. Entre ces objets, il peut y avoir des *relations* représentées par des flèches, qui en fonction de leur type sont nommées.

### Objets ou unités de connaissances

Aspect sur le graphique	Description de l'unité de connaissance
Concept	Les <b>concepts</b> peuvent être des genres d'objets (ex. : chaise, pipette, molécule, etc.), types de documents (image, photocopié, etc.), catégories d'outils (classeur, manuel, tableau, etc.), groupes de gens (élèves, prof, etc.), genre d'événements (activité, TP, séance, etc.).
Procédure	Les <b>procédures</b> sont les opérations entre les concepts, par exemple des tâches ou des activités génériques (lire un énoncé, faire une expérience, écrire un compte rendu, etc.), des consignes à suivre (résous l'équation, schématise l'expérience).
Principe	Les <b>principes</b> peuvent être plusieurs choses. Il s'agit de toutes les règles qui <i>régissent</i> les <b>concepts</b> , <b>procédures</b> , ou <b>faits</b> . Ça peut-être une règle (ex. avec « si → alors » : <b>si</b> la quantité d'énergie est suffisante <b>alors</b> l'eau change d'état). Ou bien le rôle joué par une personne (ex. : l'élève dans un rôle de technicien de laboratoire faisant une expérience)
Fait	Les faits sont constatés : ex. l'eau est une molécule.

### Relations entre les unités de connaissance

Code de la relation	Nom de la relation	Description de la relation
C	Composé	On l'utilise pour les <i>concepts</i> et les <i>procédures</i> , pour les décomposer en concepts et procédures plus élémentaires. Le lien va du contenant vers le contenu.
I/P	« Intrant/Produit »	Cela permet de décrire ce qui est produit par une <i>procédure</i> , ou ce qui est nécessaire ( <b>intrant</b> ) pour un <i>concept</i> ou une <i>procédure</i> .
P	Précédence	Permet de déterminer que deux unités de connaissances (plutôt des <i>procédures</i> ) doivent se suivre.
S	Spécialisation	Correspond à « sorte de ». Ex. : le dioxygène est une <i>sorte de</i> molécule.
R	Régit	Souvent associée aux <i>principes</i> , elle permet de dire qui contrôle quoi.

Mode d'emploi du langage MOT

P. Thomas & B. Marne/Lip6 – UPMC

Figure 60 : Fiche récapitulative du langage MOT, d'après [Paquette et al., 2006]. Elle a été conçue pour être utilisée par les enseignants de SPCFA pour modéliser l'enseignement des changements d'état de l'eau, tel qu'il est pratiqué en classe de 5e<sub>2</sub>.

---

## II. Description du jeu sérieux « Les Cristaux d'Éhère »

---

« Les Cristaux d'Éhère » est un jeu sérieux dont la majeure partie des éléments de conception sont issus du projet « *Donjons & Radon* ». Il a été développé pour tester plusieurs travaux de recherche de l'équipe MOCAH comme le *framework Genome* ou l'outil auteur *APPLiq*.

### Facette 1 : Objectifs pédagogiques

Les objectifs pédagogiques de ce jeu sérieux sont ceux de la physique et de la chimie enseignés au collège. Nous avons implémenté dans le prototype les objectifs liés aux changements d'état de la matière enseignés en 5<sup>e</sup>. Ils sont notamment détaillés dans le III.2.2 du Chapitre 2. p.33 et sur la Figure 9 p.33.

### Facette 2 : Simulation du domaine

Un modèle formel du changement d'état de la matière guide le moteur de jeu. Conçu par Clément Rouanet dans le cadre de son stage de Master, ce modèle synthétise les éléments nécessaires aux changements d'état dans le jeu sérieux, c'est-à-dire la prise en compte des températures de changement d'état et les durées des paliers, ainsi que les trois états possibles et certaines de leurs propriétés. La description des travaux préliminaires sur cette simulation qui ont été menés dans le cadre du projet *Donjons & Radon* est détaillée dans le III.2.3 du Chapitre 2. p.34.

### Facette 3 : Interactions avec la simulation

Le *gameplay* du jeu sérieux est fondé sur l'exploration et la résolution de puzzles et d'énigmes : l'apprenant-joueur incarne un personnage vu du dessus (perspective 3/4) qui peut interagir avec des éléments de son environnement. Notamment, cet avatar peut agir sur la température, mais aussi divers autres mécanismes pour résoudre les puzzles et les énigmes qui balisent son avancée. Le but, pour l'apprenant-joueur, est de faire avancer l'avatar le plus loin possible.



#### Facette 4 : Problèmes et progression

Chaque niveau (activité) est un lieu géographique, c'est-à-dire une salle du donjon dans lequel l'avatar progresse, et duquel il doit sortir. Pour sortir, l'apprenant-joueur doit utiliser des compétences issues des programmes scolaires de SPCFA. Le *level design*, comme le design pédagogique restent très rudimentaires dans ce prototype, mais nous avons essayé de centrer chaque niveau sur un ensemble d'objectifs pédagogiques et ludiques précis. Dans le parcours par défaut, nous les avons organisés de manière progressive en suivant les modèles pédagogiques (Facette 1) issus des travaux menés sur le projet Donjons & Radon.

Nous nous sommes également efforcés de concevoir des niveaux (activités) dans lesquelles plusieurs solutions étaient possibles, mettant ainsi en jeu des objectifs pédagogiques et ludiques différents. Ceci a pour ambition d'expérimenter l'utilisation des états de sortie. Pour expérimenter les états d'entrée, nous avons conçu des niveaux (activités) capables de s'adapter à certaines caractéristiques (compétences) de l'apprenant-joueur. Nous avons aussi conçu des niveaux, dénués de prérequis et d'objectifs pédagogiques qui peuvent être utilisés comme activités tampon (voir la section I.4 du Chapitre 4. p.108).



#### Facette 5 : Décorum

Le décorum de notre prototype reste particulièrement rudimentaire, faute de moyens. Nous avons essayé d'introduire le jeu de façon ludique et d'utiliser des briques graphiques rappelant les jeux vidéo de type RPG (*Role Playing Games*). De même, la quête de l'avatar est actuellement justifiée par un *storytelling* relativement rudimentaire.



#### Facette 6 : Conditions d'utilisation

Les conditions d'utilisation visées par le projet Donjons & Radon étaient des séances de jeu en classe durant des sessions d'environ 30 à 40min. C'est à peu près le modèle que nous avons suivi pour le parcours par défaut fourni avec le jeu (qui devrait durer environ 40min pour être joué entièrement). Cependant, nous considérons que le jeu sérieux prend toute sa valeur s'il est utilisé avec une scénarisation adaptée par l'enseignant (avec *APPLiq*) à une situation pédagogique particulière et avec un temps de jeu sans doute plus court.

---

## **III. Description du jeu sérieux « Défenses Immunitaires »**

---

### **III.1. Processus de conception et de développement**

---

Le jeu sérieux « Défenses Immunitaires » a été développé par de deux étudiants ingénieurs (Ahmed Youcef Zemirline et Lotfi Meziani) de l'École Nationale Supérieure d'Informatique (ESI) d'Alger dans le cadre de leur projet de fin d'étude que j'ai co-encadré avec Nabila Bousbia (Enseignante-Chercheur à l'ESI). J'avais déjà conçu un *gamedesign* détaillé pour ce jeu sérieux ainsi que plusieurs prototypes dans le cadre de mon stage de Master [Marne, 2010]. Ainsi, les étudiants, qui n'avaient que 8 mois pour ce projet, ont pu s'appuyer sur ces prototypes dans le cadre d'une conception itérative.

Techniquement, le jeu sérieux est programmé en HTML5/Canvas et JavaScript grâce aux bibliothèques *EaseJS* (affichage), *Box2D* (Moteur physique), *Sound Manager* (Moteur sonore) et *pxLoader* (Moteur de chargement asynchrone de données en JavaScript).

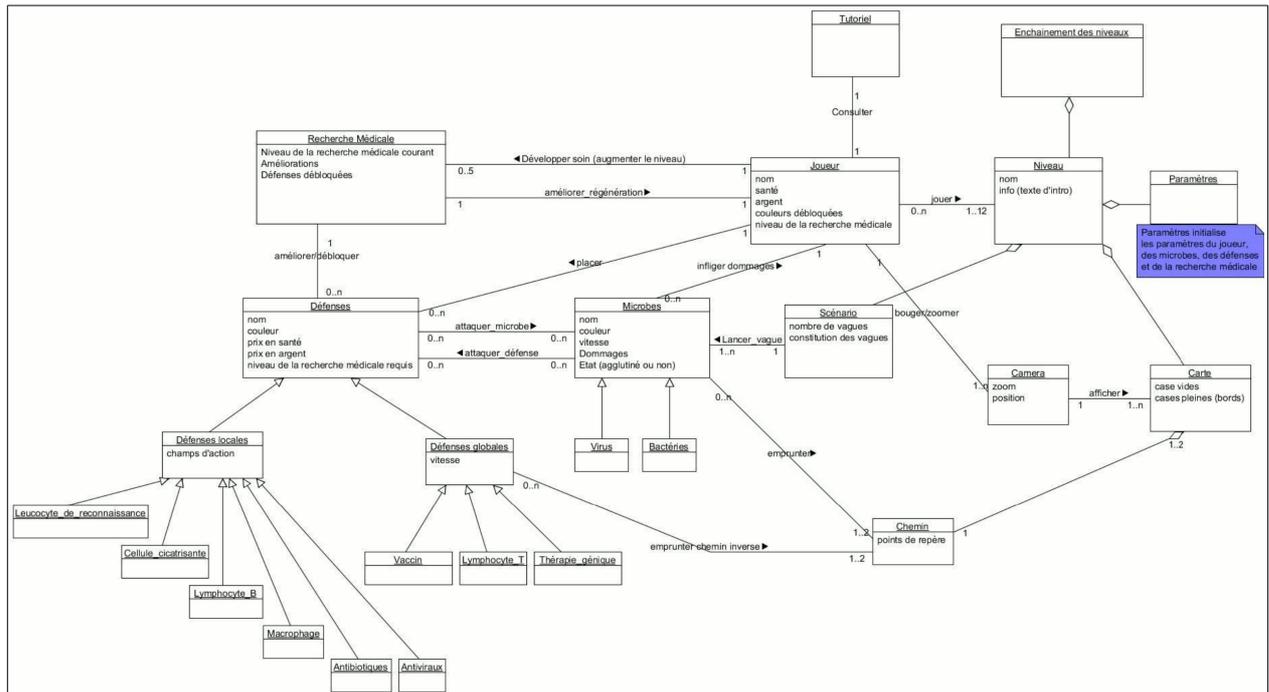


Figure 61 : Diagramme de classe UML du jeu sérieux « Défenses Immunitaires »

Ce prototype de « Défenses Immunitaires » est jouable en ligne : [http://seriousgames.lip6.fr/Defenses\\_Immunitaires/](http://seriousgames.lip6.fr/Defenses_Immunitaires/)

## III.2. Description du jeu sérieux

Bien sûr, ce jeu sérieux peut se décrire à travers les 6 facettes de la conception.

### Facette 1 : Objectifs pédagogiques

L'objectif pédagogique principal du jeu est d'apprendre aux apprenants-joueurs les tenants et les aboutissants de la défense de l'organisme. Il se destine à des collégiens de 3<sup>e</sup> et cible donc les compétences des programmes scolaires. Le détail des objectifs pédagogiques est placé en annexe IV p.177.

### Facette 2 : Simulation du domaine

Le jeu repose sur une simulation simplifiée des interactions entre les micro-organismes pathogènes et les cellules de l'organisme. Elle modélise les deux principaux types de micro-organismes pathogènes (virus et bactéries) et leurs caractéristiques (résistance, mode d'action, etc.), les défenses de l'organisme (différents types de lymphocytes et les anticorps) et leurs caractéristiques (résistance, mode d'action, etc.), et enfin les principaux moyens technologiques (médicaux) utilisés pour lutter contre les maladies

infectieuses. Le détail des spécifications de la simulation du domaine est consultable en annexe V p.179.



### Facette 3 : Interactions avec la simulation

L'interaction de l'apprenant-joueur avec la simulation se fait par l'intermédiaire d'un jeu de type « *Tower Defense* » (voir aussi p.49 Les exemples du patron de conception « *Un temps pour agir, un temps pour réfléchir* ») dans lequel le joueur doit placer les défenses les plus adaptées contre des vagues de microbes déferlant dans l'organisme et dont il connaît à l'avance la nature. Il doit aussi gérer la fatigue engendrée par ces défenses (santé) et le coût engendré par les solutions médicales (argent).



### Facette 4 : Problèmes et progression

La complexité des problèmes pédagogiques posés à l'apprenant est concomitante de la complexité des défis ludiques qui sont proposés au joueur. Ainsi, les étudiants-concepteurs ont veillé à ce que les deux aspects de la difficulté augmentent de concert dans une progression linéaire.



### Facette 5 : Décorum

Les étudiants de l'ESI ont conçu les graphismes et l'environnement sonore du jeu en tenant compte de la mode du « *rétro-gaming* »<sup>53</sup> pour augmenter la motivation d'une part des joueurs (jeu sérieux reprenant les codes des jeux vidéo indépendants très à la mode actuellement), d'autre part l'acceptabilité auprès des enseignants qui sont susceptibles d'avoir joué à des jeux plus anciens ressemblant à ceux-là.



### Facette 6 : Conditions d'utilisation

Les conditions d'utilisation n'ont pas été définies en détail. Tous les niveaux sont ouverts dès le départ aux apprenants-joueurs, mais un certain nombre d'éléments ne sont débloqués que lorsqu'ils franchissent les niveaux les uns après les autres. De plus, le jeu sérieux est assez dur et demande de nombreux essais. Cela implique que les apprenants joueurs aient un temps relativement long à leur disposition pour jouer (sans doute hors de classe).

Le prototype du jeu sérieux réalisé par les étudiants de l'ESI est parfaitement fonctionnel et est utilisé depuis 2 ans par des enseignants de Sciences de la Vie et de la Terre (SVT). Il inclut également un éditeur de niveau et de scénario également conçus par les étudiants. Le jeu propose dans cette version une scénarisation linéaire qui explique qu'il n'implémente pas *MoPPLiq*.

---

53 Mode dans le domaine des jeux vidéo qui consiste à utiliser des représentations graphiques qui rappellent les premiers jeux vidéo et qui s'illustre notamment par la volonté de montrer des éléments graphiques pixélisés et de proposer des environnements sonores imitant les anciens synthétiseurs embarqués dans les premières consoles de jeu.

---

## **IV. Objectifs pédagogiques du jeu sérieux « Défenses Immunitaires »**

---

Extrait de la partie du programme de Sciences de la Vie et de la Terre (paru au Bulletin officiel spécial n°6 du 28 août 2008). Les parties en gras sont celles traitées par le jeu sérieux.

*L'organisme est constamment confronté à la possibilité de **pénétration de micro-organismes (bactéries et virus) issus de son environnement.***

*Ils se transmettent de différentes façons d'un individu à l'autre directement ou indirectement. Ils franchissent la peau ou les muqueuses : c'est la contamination. Après contamination, les microorganismes se multiplient au sein de l'organisme : c'est l'infection.*

***Ces risques sont limités par la pratique de l'asepsie et par l'utilisation de produits antiseptiques.** L'utilisation du préservatif permet de lutter contre la contamination par les microorganismes responsables des infections sexuellement transmissibles (IST) notamment celui du SIDA.*

***Des antibiotiques appropriés permettent d'éliminer les bactéries. Ils sont sans effet sur les virus.***

*L'organisme reconnaît en permanence la présence d'éléments étrangers grâce à son système immunitaire.*

***Une réaction rapide – la phagocytose, réalisée par des leucocytes – permet le plus souvent de stopper l'infection.***

***D'autres leucocytes, des lymphocytes spécifiques d'un antigène reconnu se multiplient rapidement dans certains organes, particulièrement les ganglions lymphatiques.***

***Les lymphocytes B sécrètent dans le sang des molécules nommées anticorps, capables de participer à la neutralisation des microorganismes et de favoriser la phagocytose.***

***Une personne est dite séropositive pour un anticorps déterminé lorsqu'elle présente cet anticorps dans son sang.***

***Les lymphocytes T détruisent par contact les cellules infectées par un virus.***

***Les réactions spécifiques sont plus rapides et plus efficaces lors de contacts ultérieurs avec l'antigène.***

***La vaccination permet à l'organisme d'acquérir préventivement et durablement une mémoire immunitaire relative à un microorganisme déterminé grâce au maintien dans l'organisme de nombreux leucocytes spécifiques.***

***Une immunodéficience acquise, le SIDA, peut perturber le système immunitaire.***

***Un test permet de déterminer si une personne a été contaminée par le VIH.***

---

## ***V. Éléments de la simulation des défenses de l'organisme du jeu sérieux « Défenses Immunitaires »***

---

Les spécifications de la simulation utilisée dans le jeu sérieux « Défenses Immunitaires » sont détaillées ci-après.

### **V.1. Variables dynamiques :**

---

#### **V.1.1. La santé :**

Quantité non nulle au début. **Dès que la santé est nulle → perdu.**

- Qui **augmente** au fur et à mesure très lentement.
- Qui **diminue fortement** si un microbe passe à travers les défenses.
- Qui **diminue** lors de la création ou de l'utilisation de défenses.

#### **V.1.2. L'argent :**

Quantité nulle au début. Nécessaire pour se soigner.

- **Augmente** si de la recherche médicale a abouti à la création de soins (*antiseptiques, antibiotiques, antiviraux, vaccins, thérapie génique antibactérienne*)
- Plus il y a de soins trouvés **plus l'augmentation est rapide**
- Utiliser un soin **diminue** la quantité d'argent.

#### **V.1.3. Les couleurs :**

Elles expriment la spécificité des microbes et des moyens de défense.

- Elles symbolisent les antigènes portés par les microbes (et donc leur vulnérabilité aux défenses).

- Elles symbolisent la vulnérabilité des cellules aux virus (de même couleur).

## V.2. Les microbes (« ennemis ») :

---

Caractérisés par leur type (*Bactérie/Virus*) et leurs *antigènes* (affichés sous forme de couleurs) permettent à certaines défenses de les reconnaître.

### V.2.1. Les bactéries :

- **Caractéristiques** : grosses, et ont plusieurs antigènes (couleurs), mais un commun (couleur commune des bactéries)
- **Effet** : libèrent des *toxines* qui diminuent la « vie » des cellules.
- **Détruites par** : les *macrophages*, les *antiseptiques*, les *antibiotiques* (plus ou moins spécifiques), et même par un type de *virus* (ceux qui ont la couleur commune des bactéries) issus de la *thérapie génique*.

### V.2.2. Les virus :

- **Caractéristiques** : petits (trop petits pour les *macrophages*), ont un seul *antigène* (couleur). Certains virus (VIH, grippe) sont polymorphes : ils changent *d'antigènes* (couleur) régulièrement.
- **Effet** : peuvent infecter les cellules (cicatrisantes ou leucocytes) de la même couleur, ils les tuent alors après un délai en libérant plus des virus du même type. Cas particulier, un type de virus peut agir sur les bactéries : ceux de la *thérapie génique*.
- **Détruits par** : les *macrophages* (si et seulement si ils ont été agglomérés par des *Lymphocytes B* spécifiques avant), les *antiviraux* spécifiques.

## V.3. Les défenses :

---

Sont de deux types : de type « **tour** » et de type « **globale** ».

Les **tours** agissent localement (cases autour d'elles), les **globales** agissent sur l'ensemble du tableau de jeu :

### V.3.1. Défenses de type « tour » :

#### a) Les cellules de cicatrisation :

- **Caractéristiques** : très peu coûteuses en santé. Ont une couleur (au hasard ou choisie par le joueur ?) qui correspond à leur sensibilité aux virus de la même couleur.
- **Effet** : sont un mur, elles canalisent les microbes. Note : le joueur ne peut pas totalement fermer le chemin.
- **Niveaux** :
  - 1 : cellules simples
  - 2 : cellules muqueuses → elles libèrent du mucus qui ralentit les microbes

- 3 : cellules souches → peuvent être transformées en *leucocytes*
- **Détruits par** : les *toxines* (en grande quantité). Les *virus* spécifiques (même couleur) qui les infectent.

#### b) Les leucocytes macrophages :

- **Caractéristiques** : un peu coûteux en santé. Ont tous la même couleur (sensibles aux mêmes virus). Insensibles aux toxines.
- **Effet** : phagocytent (mangent et détruisent) les gros éléments qui passent dans leur rayon d'action. C'est-à-dire les *bactéries* et les *virus agglutinés* par des *anticorps* (sécrétés par les *lymphocytes B*)
- **Niveaux** :
  - de 1 à 3 : augmentation du rayon d'action et de la vitesse d'absorption
- **Détruits par** : les *virus* qui leur sont spécifiques (même couleur).

#### c) Les leucocytes de reconnaissance :

- **Caractéristiques** : un peu coûteux en santé. Ont une couleur (mais dans le jeu, aucun virus n'a la même couleur).
- **Effet** : apprennent les *antigènes* (couleurs) des microbes. Ils sont nécessaires pour fabriquer des *Lymphocytes B et T* fonctionnels.
- **Niveaux** :
  - de 1 à 3 : augmentation du rayon d'action et de la vitesse de reconnaissance
- **Détruits par** : les *toxines* (lentement).

#### d) Les leucocytes Lymphocytes B :

- **Caractéristiques** : assez coûteux en santé. Ont deux couleurs :
  - couleur externe → tous la même, elle définit leur *sensibilité aux virus*.
  - Couleur interne → antigènes qu'ils savent reconnaître et agglutiner, c'est le joueur qui la choisit parmi celles disponibles (en fonction de ce que les Leucocytes de reconnaissance ont appris). Sans couleur interne (qui peut-être définie plus tard), le Lymphocyte B est inactif.
- **Effet** : produisent des *anticorps* spécifiques (couleur donnée) : ils agglutinent les microbes ayant les mêmes *antigènes* (couleur interne). L'agglutination rend les microbes plus lents et plus faciles à détruire par les *macrophages* (les *macrophages* ne peuvent manger les *virus qu'agglutinés*).
- **Niveaux** :
  - de 1 à 2 : augmentation de la quantité d'*anticorps* produits
  - 3 : Lymphocyte B mémoire → Il a deux effets :
    - permet de poser des *lymphocytes B* du même type pour un coût (santé) plus faible
    - *séropositivité* : permet de fabriquer des *Lymphocytes T et B* de la même couleur interne (donc capable d'*agglutiner* les mêmes antigènes) dès le début des niveaux suivants (sans qu'il y ait besoin de *Leucocytes de reconnaissance*)
- **Détruits par** : les *toxines* (lentement), les *virus* qui leur sont spécifiques (même couleur).

**e) Les antibiotiques :**

- **Caractéristiques :** coûtent un peu d'argent et nécessitent d'être au niveau de *recherche médicale n°2*. Peuvent avoir un mélange de couleur plus ou moins grand selon leur niveau. Coûtent aussi en santé.
- **Effet :** Détruisent les *bactéries* plus ou moins vite (voir niveaux). À chaque destruction la santé baisse un peu.
- **Niveaux :**
  - 1 : *antibiotiques de spectre large*. Ils ont une seule couleur (la couleur commune des bactéries), c'est-à-dire agissent sur toutes les bactéries, mais sont peu efficaces (lents).
  - 2 : *antibiotiques de spectre intermédiaire*. Ont une couleur de plus. Ils agissent sur les bactéries qui ont au moins cette couleur. Ils sont plus rapides.
  - 3 : *antibiotiques à spectre étroit*. Ils ont 2 couleurs (en plus de la couleur commune). Ils n'agissent que sur les bactéries qui ont cette combinaison de couleurs. Ils sont très rapides.
- Pas destructibles, mais **ont une durée de vie** dans l'organisme. Après quoi ils disparaissent.

**f) Les antiviraux :**

- **Caractéristiques :** coûtent beaucoup d'argent et nécessitent d'être au niveau de *recherche médicale n°3*. Ont une ou plusieurs couleurs (ex. trithérapies). Coûtent aussi en santé.
- **Effet :** Détruisent les *virus* auxquels ils sont spécifiques (même couleur). À chaque destruction, la santé baisse un peu.
- Pas de niveau
- Pas destructibles, mais **ont une durée de vie** dans l'organisme. Après quoi ils disparaissent.

**V.3.2. Défenses de type « globale » :**

**a) Les leucocytes Lymphocyte T :**

- **Caractéristiques :** assez coûteux en santé. Mettent du temps à être fabriqués et libérés (ce temps peut-être réduit s'il y a *séropositivité*). Sont spécifiques (ont une couleur choisie par le joueur quand il demande la fabrication), mais nécessitent qu'il y ait eu reconnaissance (par des *Leucocytes de reconnaissance* ou grâce à la *séropositivité*).
- **Effet :** libérés sous forme de vague après leur fabrication, ils tuent les *cellules (cicatrisantes ou leucocytes)* infectées par les *virus* de même couleur partout sur le tableau de jeu.
- Pas de niveau
- pas destructibles. Leur **effet est ponctuel**.

**b) Les antiseptiques :**

- **Caractéristiques :** Coûtent peu en argent. Nécessitent le niveau de *recherche médicale n°1*. N'ont pas de couleur.

- **Effet** : libérés sous forme de vague, ils tuent 80 % des *bactéries* qui sont proches des zones d'infection. Certaines bactéries sont plus résistantes (taux de destruction plus faible).
- Pas de niveau
- Pas destructibles. Leur **effet est ponctuel**. Le joueur ne peut enchaîner leur utilisation, il faut attendre le **rechargement**.

**c) Thérapie génique antibactérienne :**

- **Caractéristiques** : Coûte beaucoup d'argent. Nécessite le niveau de *recherche médicale* n°5 (le plus élevé). Ont deux couleurs (la couleur commune des bactéries+une couleur choisie par le joueur).
- **Effet** : libère une vague de *virus inoffensifs*, capables de détruire entre 99 % et 100 % des *bactéries* de mêmes couleurs.
- Pas de niveau
- Pas destructibles. Leur **effet est ponctuel**. Le joueur ne peut enchaîner leur utilisation, il faut attendre le **rechargement** (très très lent).

**d) Le Vaccin :**

- **Caractéristiques** : Assez coûteux. Nécessite le niveau de *recherche médicale* n°4. A une couleur, choisie par le joueur.
- **Effet** : fait acquérir immédiatement la *séropositivité* spécifique d'un antigène (couleur) : elle permet donc de fabriquer des *Lymphocytes B et T* à moindre coût et sans avoir besoin des *Leucocytes de reconnaissance*. Cette *séropositivité* est définitive (jusqu'à la fin du jeu).
- Pas de niveau
- Pas destructible. L'**effet est permanent**.

## V.4. La recherche médicale :

---

Elle permet développer des **soins**. Elle prend (du temps) et coûte de l'argent à partir du niveau n°2. Mais quand un soin est développé, il rapporte aussi de l'argent progressivement.

Les niveaux sont :

- 1 : les **antiseptiques**. Sont vite développés, mais rapportent peu.
- 2 : les **antibiotiques**. Ont besoin du niveau n°1 pour être développés. Sont plus lents à concevoir. Rapportent un peu plus.
- 3 : Les **antiviraux**. Ont besoin du niveau n°2 pour être développés. Sont plus lents à concevoir. Rapportent un peu plus.
- 4 : les **vaccins**. Ont besoin du niveau n°3 pour être développés. Sont vraiment lents à concevoir. Rapportent beaucoup.
- 5 : la **thérapie génique antibactérienne**. A besoin du niveau n°4 pour être développée. Est vraiment très très lente à concevoir. Rapporte énormément.

## VI. Diagramme complet du schéma XML de MoPPLiq

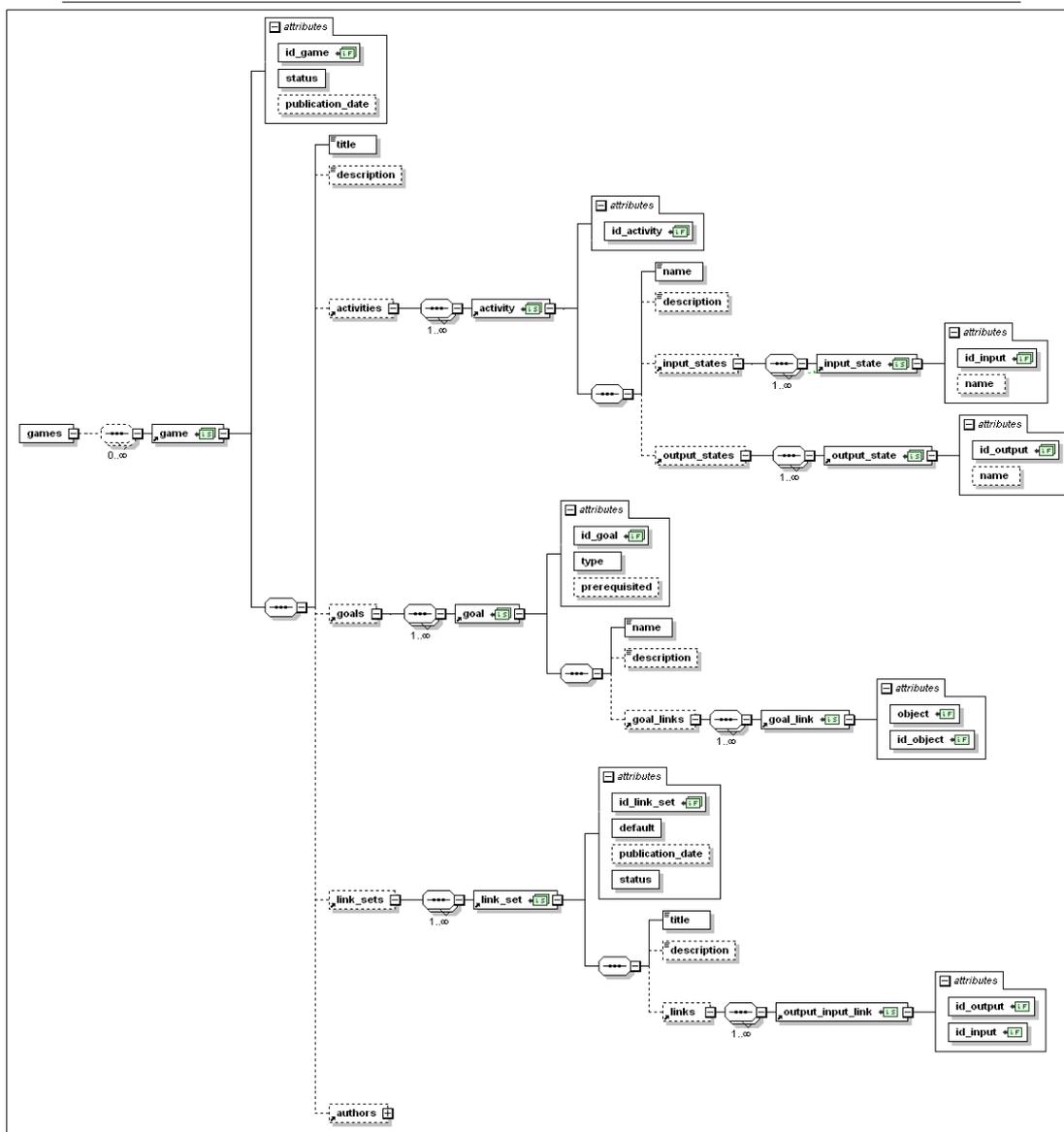


Figure 62 : Diagramme du schéma XML complet du modèle MoPPLiq.

## VII. Schéma XML de MoPPLiq

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!-- XSD Schema for MoPPLiq v0.3 -->
<xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" elementFormDefault="qualified"
  attributeFormDefault="unqualified">
  <xs:element name="games">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence minOccurs="0" maxOccurs="unbounded">
        <xs:element ref="game"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
    <xs:unique name="Unique_id_game">
      <xs:selector xpath="game"/>
      <xs:field xpath="@id_game"/>
    </xs:unique>
  </xs:element>
  <xs:element name="game">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element name="title">
          <xs:simpleType>
            <xs:restriction base="xs:string">
              <xs:maxLength value="65535"/>
              <xs:minLength value="1"/>
            </xs:restriction>
          </xs:simpleType>
        </xs:element>
        <xs:element name="description" minOccurs="0">
          <xs:simpleType>
            <xs:restriction base="xs:string">
              <xs:maxLength value="2147483647"/>
              <xs:minLength value="1"/>
            </xs:restriction>
          </xs:simpleType>
        </xs:element>
        <xs:element ref="activities" minOccurs="0"/>
        <xs:element ref="goals" minOccurs="0"/>
        <xs:element ref="link_sets" minOccurs="0"/>
        <xs:element ref="authors" minOccurs="0"/>
      </xs:sequence>
      <xs:attribute name="id_game" use="required">
        <xs:simpleType>
          <xs:restriction base="xs:long">

```

```

        <xs:minInclusive value="1"/>
    </xs:restriction>
</xs:simpleType>
</xs:attribute>
<xs:attribute name="status" use="required">
    <xs:simpleType>
        <xs:restriction base="xs:string">
            <xs:enumeration value="prepa"/>
            <xs:enumeration value="publie"/>
        </xs:restriction>
    </xs:simpleType>
</xs:attribute>
<xs:attribute name="publication_date" type="xs:dateTime"/>
</xs:complexType>
<xs:key name="appliq_game_PrimaryKey_1">
    <xs:selector xpath="."/>
    <xs:field xpath="@id_game"/>
</xs:key>
</xs:element>
<xs:element name="authors">
    <xs:complexType>
        <xs:sequence maxOccurs="unbounded">
            <xs:element ref="author"/>
        </xs:sequence>
    </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="author">
    <xs:complexType>
        <xs:sequence>
            <xs:element name="name">
                <xs:simpleType>
                    <xs:restriction base="xs:string">
                        <xs:maxLength value="65535"/>
                        <xs:minLength value="1"/>
                    </xs:restriction>
                </xs:simpleType>
            </xs:element>
            <xs:element name="email" minOccurs="0">
                <xs:simpleType>
                    <xs:restriction base="xs:string">
                        <xs:maxLength value="255"/>
                        <xs:minLength value="1"/>
                    </xs:restriction>
                </xs:simpleType>
            </xs:element>
            <xs:element ref="author_links"/>
        </xs:sequence>
        <xs:attribute name="id_author">
            <xs:simpleType>
                <xs:restriction base="xs:long">
                    <xs:minInclusive value="1"/>
                </xs:restriction>
            </xs:simpleType>
        </xs:attribute>
        <xs:attribute name="status">
            <xs:simpleType>
                <xs:restriction base="xs:string">
                    <xs:enumeration value="0minirezo"/>
                    <xs:enumeration value="1comite"/>
                    <xs:enumeration value="6forum"/>
                </xs:restriction>
            </xs:simpleType>
        </xs:attribute>
    </xs:complexType>
</xs:element>

```

```

        </xs:attribute>
    </xs:complexType>
    <xs:key name="appliq_authors_PrimaryKey_1">
        <xs:selector xpath="."/>
        <xs:field xpath="@id_author"/>
    </xs:key>
</xs:element>
<xs:element name="author_links">
    <xs:complexType>
        <xs:sequence maxOccurs="unbounded">
            <xs:element ref="author_link"/>
        </xs:sequence>
    </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="author_link">
    <xs:complexType>
        <xs:attribute name="object">
            <xs:simpleType>
                <xs:restriction base="xs:string">
                    <xs:enumeration value="un_parcours"/>
                    <xs:enumeration value="jeu"/>
                </xs:restriction>
            </xs:simpleType>
        </xs:attribute>
        <xs:attribute name="id_object">
            <xs:simpleType>
                <xs:restriction base="xs:long">
                    <xs:minInclusive value="1"/>
                </xs:restriction>
            </xs:simpleType>
        </xs:attribute>
    </xs:complexType>
    <xs:key name="appliq_authors_links_PrimaryKey_1">
        <xs:selector xpath="."/>
        <xs:field xpath="@id_object"/>
        <xs:field xpath="@object"/>
    </xs:key>
</xs:element>
<xs:element name="activities">
    <xs:complexType>
        <xs:sequence maxOccurs="unbounded">
            <xs:element ref="activity"/>
        </xs:sequence>
    </xs:complexType>
    <xs:unique name="Unique_id_activity">
        <xs:selector xpath="activity"/>
        <xs:field xpath="@id_activity"/>
    </xs:unique>
</xs:element>
<xs:element name="activity">
    <xs:complexType>
        <xs:sequence>
            <xs:element name="name">
                <xs:simpleType>
                    <xs:restriction base="xs:string">
                        <xs:maxLength value="65535"/>
                        <xs:minLength value="1"/>
                    </xs:restriction>
                </xs:simpleType>
            </xs:element>
            <xs:element name="description" minOccurs="0">
                <xs:simpleType>

```

```

        <xs:restriction base="xs:string">
            <xs:maxLength value="2147483647"/>
        </xs:restriction>
    </xs:simpleType>
</xs:element>
<xs:element ref="input_states" minOccurs="0"/>
<xs:element ref="output_states" minOccurs="0"/>
</xs:sequence>
<xs:attribute name="id_activity" use="required">
    <xs:simpleType>
        <xs:restriction base="xs:long">
            <xs:minInclusive value="1"/>
        </xs:restriction>
    </xs:simpleType>
</xs:attribute>
</xs:complexType>
<xs:key name="appliq_activities_PrimaryKey_1">
    <xs:selector xpath="."/>
    <xs:field xpath="@id_activity"/>
</xs:key>
</xs:element>
<xs:element name="input_states">
    <xs:complexType>
        <xs:sequence maxOccurs="unbounded">
            <xs:element ref="input_state"/>
        </xs:sequence>
    </xs:complexType>
    <xs:unique name="Unique_id_input">
        <xs:selector xpath="input_state"/>
        <xs:field xpath="@id_input"/>
    </xs:unique>
</xs:element>
<xs:element name="input_state">
    <xs:complexType>
        <xs:attribute name="id_input" use="required">
            <xs:simpleType>
                <xs:restriction base="xs:long">
                    <xs:minInclusive value="1"/>
                </xs:restriction>
            </xs:simpleType>
        </xs:attribute>
        <xs:attribute name="name">
            <xs:simpleType>
                <xs:restriction base="xs:string">
                    <xs:minLength value="1"/>
                    <xs:maxLength value="65535"/>
                </xs:restriction>
            </xs:simpleType>
        </xs:attribute>
    </xs:complexType>
    <xs:key name="appliq_inputs_PrimaryKey_1">
        <xs:selector xpath="."/>
        <xs:field xpath="@id_input"/>
    </xs:key>
</xs:element>
<xs:element name="output_states">
    <xs:complexType>
        <xs:sequence maxOccurs="unbounded">
            <xs:element ref="output_state"/>
        </xs:sequence>
    </xs:complexType>
    <xs:unique name="Unique_id_output">

```

```

        <xs:selector xpath="output_state"/>
        <xs:field xpath="@id_output"/>
    </xs:unique>
</xs:element>
<xs:element name="output_state">
    <xs:complexType>
        <xs:attribute name="id_output" use="required">
            <xs:simpleType>
                <xs:restriction base="xs:long">
                    <xs:minInclusive value="1"/>
                </xs:restriction>
            </xs:simpleType>
        </xs:attribute>
        <xs:attribute name="name">
            <xs:simpleType>
                <xs:restriction base="xs:string">
                    <xs:minLength value="1"/>
                    <xs:maxLength value="65535"/>
                </xs:restriction>
            </xs:simpleType>
        </xs:attribute>
    </xs:complexType>
    <xs:key name="appliq_outputs_PrimaryKey_1">
        <xs:selector xpath="."/>
        <xs:field xpath="@id_output"/>
    </xs:key>
</xs:element>
<xs:element name="goals">
    <xs:complexType>
        <xs:sequence maxOccurs="unbounded">
            <xs:element ref="goal"/>
        </xs:sequence>
    </xs:complexType>
    <xs:unique name="Unique_id_goal">
        <xs:selector xpath="goal"/>
        <xs:field xpath="@id_goal"/>
    </xs:unique>
</xs:element>
<xs:element name="goal">
    <xs:complexType>
        <xs:sequence>
            <xs:element name="name">
                <xs:simpleType>
                    <xs:restriction base="xs:string">
                        <xs:maxLength value="65535"/>
                        <xs:minLength value="1"/>
                    </xs:restriction>
                </xs:simpleType>
            </xs:element>
            <xs:element name="description" minOccurs="0">
                <xs:simpleType>
                    <xs:restriction base="xs:string">
                        <xs:maxLength value="2147483647"/>
                        <xs:minLength value="1"/>
                    </xs:restriction>
                </xs:simpleType>
            </xs:element>
            <xs:element ref="goal_links" minOccurs="0"/>
        </xs:sequence>
        <xs:attribute name="id_goal" use="required">
            <xs:simpleType>
                <xs:restriction base="xs:long">

```

```

                <xs:minInclusive value="1"/>
            </xs:restriction>
        </xs:simpleType>
    </xs:attribute>
    <xs:attribute name="type" use="required">
        <xs:simpleType>
            <xs:restriction base="xs:string">
                <xs:enumeration value="peda"/>
                <xs:enumeration value="ludo"/>
            </xs:restriction>
        </xs:simpleType>
    </xs:attribute>
    <xs:attribute name="prerequisited" type="xs:short"/>
</xs:complexType>
<xs:key name="appliq_goals_PrimaryKey_1">
    <xs:selector xpath="."/>
    <xs:field xpath="@id_goal"/>
</xs:key>
</xs:element>
<xs:element name="goal_links">
    <xs:complexType>
        <xs:sequence maxOccurs="unbounded">
            <xs:element ref="goal_link"/>
        </xs:sequence>
    </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="goal_link">
    <xs:complexType>
        <xs:attribute name="object" use="required">
            <xs:simpleType>
                <xs:restriction base="xs:string">
                    <xs:enumeration value="input_state"/>
                    <xs:enumeration value="output_state"/>
                </xs:restriction>
            </xs:simpleType>
        </xs:attribute>
        <xs:attribute name="id_object" use="required">
            <xs:simpleType>
                <xs:restriction base="xs:long">
                    <xs:minInclusive value="1"/>
                </xs:restriction>
            </xs:simpleType>
        </xs:attribute>
    </xs:complexType>
    <xs:key name="appliq_goals_links_PrimaryKey_1">
        <xs:selector xpath="."/>
        <xs:field xpath="@id_object"/>
        <xs:field xpath="@object"/>
    </xs:key>
</xs:element>
<xs:element name="link_sets">
    <xs:complexType>
        <xs:sequence maxOccurs="unbounded">
            <xs:element ref="link_set"/>
        </xs:sequence>
    </xs:complexType>
    <xs:unique name="Unique_id_link_set">
        <xs:selector xpath="link_set"/>
        <xs:field xpath="@id_link_set"/>
    </xs:unique>
</xs:element>
<xs:element name="link_set">

```

```

<xs:complexType>
  <xs:sequence>
    <xs:element name="title">
      <xs:simpleType>
        <xs:restriction base="xs:string">
          <xs:maxLength value="65535"/>
          <xs:minLength value="1"/>
        </xs:restriction>
      </xs:simpleType>
    </xs:element>
    <xs:element name="description" minOccurs="0">
      <xs:simpleType>
        <xs:restriction base="xs:string">
          <xs:maxLength value="2147483647"/>
          <xs:minLength value="1"/>
        </xs:restriction>
      </xs:simpleType>
    </xs:element>
    <xs:element ref="links" minOccurs="0"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attribute name="id_link_set" use="required">
    <xs:simpleType>
      <xs:restriction base="xs:long">
        <xs:minInclusive value="1"/>
      </xs:restriction>
    </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
  <xs:attribute name="default" use="required">
    <xs:simpleType>
      <xs:restriction base="xs:string">
        <xs:enumeration value="oui"/>
        <xs:enumeration value="non"/>
      </xs:restriction>
    </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
  <xs:attribute name="publication_date" type="xs:dateTime"/>
  <xs:attribute name="status" use="required">
    <xs:simpleType>
      <xs:restriction base="xs:string">
        <xs:enumeration value="prepa"/>
        <xs:enumeration value="publie"/>
      </xs:restriction>
    </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
</xs:complexType>
<xs:key name="appliq_link_set_PrimaryKey_1">
  <xs:selector xpath="."/>
  <xs:field xpath="@id_link_set"/>
</xs:key>
</xs:element>
<xs:element name="links">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence maxOccurs="unbounded">
      <xs:element ref="output_input_link"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="output_input_link">
  <xs:complexType>
    <xs:attribute name="id_output" use="required">
      <xs:simpleType>
        <xs:restriction base="xs:string">

```

```
                <xs:pattern value="\p{N}*" />
                <xs:pattern value="start" />
            </xs:restriction>
        </xs:simpleType>
    </xs:attribute>
    <xs:attribute name="id_input" use="required">
        <xs:simpleType>
            <xs:restriction base="xs:string">
                <xs:pattern value="\p{N}*" />
                <xs:pattern value="end" />
            </xs:restriction>
        </xs:simpleType>
    </xs:attribute>
</xs:complexType>
<xs:key name="appliq_inputs_links_PrimaryKey_1">
    <xs:selector xpath="." />
    <xs:field xpath="@id_input" />
    <xs:field xpath="@id_output" />
</xs:key>
</xs:element>
</xs:schema>
```

## Table des figures

Figure 1 : Schéma de la symétrie de l'ignorance des experts impliqués dans la conception des jeux sérieux, adapté de [Fischer, 2000].....	14
Figure 2 : Le modèle générique DICE issu de [Djaouti, 2011].....	24
Figure 3 : Diagramme de classe du Serious Game Conceptual Framework de [Yusoff, 2010].....	24
Figure 4 : Méthodologie pour la conception de [Marfisi-Schottman, 2012].....	25
Figure 5 : Méthodologie de création de Learning Game mise au point par [Marfisi-Schottman, 2012].....	26
Figure 6 : Axe principal du cadre de conception de [Schell, 2008] autour duquel s'articulent ses lenses (ici regroupées par thèmes. Exs. : Indirect Control, Interface, Mechanics, etc.).....	27
Figure 7 : Capture d'écran du jeu sérieux StarBank.....	30
Figure 8 : Capture d'écran du jeu sérieux Revolution.....	31
Figure 9 : Modèle de l'enseignement des changements d'état de l'eau construit avec des enseignants de SPCFA. Il a été construit avec MOT [Paquette et al., 2006]. Voir la description du langage MOT dans la Figure 60 placée dans l'annexe I p.171.....	33
Figure 10 : Diagramme de changement d'état de l'eau (issu de Wikipedia: <a href="https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Diag_phase_PVT.png">https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Diag_phase_PVT.png</a> ). Un tel diagramme a servi de fondement pour le modèle formel de la simulation de Donjons & Radon et Les Cristaux d'Éhère (voir section IV.1.2 du Chapitre 3. p.128).....	34
Figure 11 : Hairz's Island est un jeu sérieux proposant des interactions avec son simulateur sur le mode du shifumi.....	36
Figure 12 : Tableau d'honneur dans le jeu sérieux Americas-Army 3. Il montre comment des médailles réifient les compétences du joueur.....	38
Figure 13 : Dans le jeu Prévenir la Grippe H1N1, le décorum est un des éléments de motivation pour l'apprenant-joueur.....	39
Figure 14 : Diagramme d'un exemple de workflow avec les 6 facettes de la conception des jeux sérieux.....	40
Figure 15 : Les 6 facettes de la conception des jeux sérieux et les experts de chacune d'elles.....	41
Figure 16 : Captures d'écrans de jeux sérieux de type « Tower Defense » : à gauche le jeu « Le jardinier écolo », à droite, l'un des prototypes du jeu « Défenses Immunitaires ». Ces jeux sérieux ont deux phases : une pour réfléchir, une pour agir.....	50
Figure 17 : Capture d'écran de l'Ile Environium du jeu Sciences en Jeu. Ce dernier est structuré en quêtes et en activités avec des objectifs, dont l'accomplissement trace le parcours de l'apprenant-joueur.....	52
Figure 18 : Exemples de stéréotypes de produits déterminés grâce aux valences liées à chacune des 6 facettes de la conception des jeux sérieux.....	60
Figure 19 : Captures d'écrans de la version 2.1 de LAMS tirée de [Dalziel, 2008] montrant des activités gigognes. La capture d'écran de droite montre le branchement contenu dans l'une des activités présentées sur la capture de gauche.....	71
Figure 20 : Extrait du XML décrivant le niveau 6.2 de Refraction.....	76
Figure 21 : Diagramme d'un extrait du schéma XML de MoPPLiq montrant le méta-modèle des activités avec leurs états d'entrée et de sortie et de leurs liens avec les objectifs.....	77
Figure 22 : Représentation graphique du modèle MoPPLiq du niveau 6.2 du jeu sérieux Refraction. Le niveau est représenté par une activité (boîte grise) caractérisée par des objectifs pédagogiques (signifiés dans la bulle d'information). En reliant par des flèches les états de sortie (pointes brunes) aux états d'entrée (chevrons verts), on obtient un parcours pédago-ludique.....	78
Figure 23 : Extrait du fichier XML décrivant le scénario non linéaire du jeu sérieux Les ECSPER.....	79

Figure 24 : Diagramme d'un extrait du schéma XML de MoPPLiq montrant le méta-modèle des parcours (« link_set ») : ensemble des transitions (« output_input_link ») entre états de sortie et états d'entrée.....	80
Figure 25 : Une activité d'ECSPER (boîtes grises) peut mener à un choix. En fonction de celui-ci, l'état de sortie de l'activité diffère (pointes brunes). Ici, la première « sortie » (marquée 1) de l'activité d'Analyse du mode de rupture (à gauche) correspond au choix de l'étudiant d'un mode « fragile ». La seconde « sortie » (marquée 2) correspond au choix d'un mode de rupture « ductile ».....	81
Figure 26 : Extrait du fichier XML décrivant Science en jeu dans lequel plusieurs états d'entrée modélisent différents comportements d'une activité.....	82
Figure 27 : L'activité (boîte grise au centre) d'analyse de l'eau de la quête « Oh la la » de Science en jeu est modulable. Le premier état d'entrée (chevron vert n° 1) correspond au laborantin novice : sans prérequis liés à l'expérience de laboratoire. Le second état d'entrée est réservé aux laborantins expérimentés, ce qui est modélisé avec le prérequis « Avoir fait une première analyse de l'eau (pollution) ».....	83
Figure 28 : Ce parcours pérago-ludique complexe est celui du début de l'Archipel Environium de Science et jeu, avec la quête « Oh la la » et ses activités périphériques. Voir aussi la copie d'écran sur la Figure 17 p.52.....	83
Figure 29 : Représentation graphique simplifiée du schéma XML de MoPPLiq (le diagramme complet figure en annexe VI p.184).....	85
Figure 30 : Diagramme entité-association du modèle MoPPLiq.....	86
Figure 31 : Trois aspects du modèle MoPPLiq: l'activité, les états de sortie et les états d'entrée.....	87
Figure 32 : Modèle de mise en scène ludique des scénarios dans Legadee (issu de [Marfisi-Schottman, 2012]).....	93
Figure 33 : Le scénario de Fire Protocol transformé automatiquement au format MoPPLiq depuis son format initial (eAdventure). Il faut remarquer, en marge du déroulement principal du scénario (en bas, non connectée à Start), la scène de coupe qui est déclenchée par l'événement de fin du compte à rebours.....	94
Figure 34 : Un extrait du parcours par défaut du prototype de jeux sérieux « Les Cristaux d'Èhère » (voir section IV.1.2 p.128).....	102
Figure 35 : Infobulle détaillant les informations sur une activité d'un parcours pérago-ludique....	103
Figure 36 : Diagramme de flux dans le langage VSL utilisé par Virtools et 3D Via Studio. L'image est issue de la documentation de 3D Via Studio.....	103
Figure 37 : Capture d'écran d'APPLiq montrant le formulaire de recherche d'activités par objectifs pédagogiques pouvant être travaillés.....	105
Figure 38 : Schéma de la vérification des prérequis lors de la connexion d'une activité dans APPLiq : la liste des objectifs prérequis doit être incluse dans la liste des objectifs travaillés dans le parcours qui précède pour que la connexion ne pose pas de problème de cohérence.....	106
Figure 39 : Déterminer les objectifs qui ont sûrement été travaillés dans tous les chemins possibles de l'apprenant-joueur: c'est l'intersection de objectifs travaillés dans chacun des chemins possibles. ....	106
Figure 40 : Capture d'écran d'APPLiq montrant l'affichage d'une incohérence pédagogique détectée lors de la connexion d'une nouvelle activité.....	107
Figure 41 : Schéma du principe de l'activité tampon dans APPLiq : c'est une activité de compensation proposée pour apporter un prérequis qui n'aurait pu être obtenu dans les activités qui précèdent.....	108
Figure 42 : Diagramme de cas d'utilisation d'APPLiq pour l'utilisateur « enseignant ».....	110
Figure 43 : Diagramme de cas d'utilisation d'APPLiq pour l'utilisateur « concepteur de jeu sérieux ».....	111

Figure 44 : Capture d'écran des choix de compensation proposés par MoPPLiq lorsqu'il a détecté une incohérence ludique dans une transition.....	112
Figure 45 : Diagramme d'activité représentant la construction progressive d'un parcours par les connexions successives des états de sortie aux états d'entrée par les enseignants utilisateurs.....	113
Figure 46 : Schéma simplifié de l'architecture d'APPLiq.....	115
Figure 47 : Capture d'écran d'APPLiq montrant la fenêtre modale contenant le formulaire de connexion d'activités dans un parcours du jeu sérieux Blockly Maze (voir section IV.1.3 p.129). On y voit une interface riche en informations. Néanmoins, les informations ludiques y sont masquées et affichables en cliquant sur « Afficher plus » (détails sur l'activité, dont sa capture d'écran, et liste des objectifs ludiques prérequis et travaillés).....	117
Figure 48 : Capture d'écran d'APPLiq montrant un extrait d'un des parcours pédaogo-ludiques du jeu sérieux Blockly Maze (voir section IV.1.3 p.129).....	118
Figure 49 : Modèle d'un parcours fictif montrant les deux types de nœuds asymétriques présents dans un graphe MoPPLiq : les états d'entrée et de sortie, qui ont aussi des transitions à l'intérieur des activités (voir l'agrandissement de l'activité 1).....	119
Figure 50 : Organigramme de l'algorithme de parcours de graphe utilisé dans APPLiq.....	120
Figure 51 : Organigramme de l'algorithme de l'implémentation du modèle MoPPLiq dans le jeu sérieux Les Cristaux d'Éhère (voir la section IV.1.2 p.128). Il s'agit d'un exemple d'implémentation de bas niveau.....	124
Figure 52 : Capture d'écran du prototype du jeu sérieux « Défenses Immunitaires » utilisé pour tester MoPPLiq et pour évaluer les besoins des enseignants.....	127
Figure 53 : Capture d'écran du prototype du jeu sérieux « Les Cristaux d'Éhère » qui a été utilisé pour mettre à l'épreuve APPLiq.....	128
Figure 54 : Capture d'écran de la version adaptée du jeu sérieux « Blockly Maze », utilisée pour la conception itérative d'APPLiq et l'implémentation haut niveau de MoPPLiq.....	129
Figure 55 : Représentation graphique du parcours pédaogo-ludique par défaut proposé aux participants.....	133
Figure 56 : Parcours sous-optimal proposé à la modification aux participants de l'expérimentation. Le parcours comporte deux incohérences pédagogiques, et un enchaînement d'activités peu satisfaisant.....	134
Figure 57 : Capture d'écran du tableau de bord de l'expérimentation d'APPLiq, à l'étape 4.....	135
Figure 58 : Effectif de ce qui est déclaré comme facilitant la compréhension du scénario dans la représentation du scénario proposée par APPLiq. Les déclarations des participants ont été regroupées par similarité.....	140
Figure 59 : Effectif des types de remarques libres faites par les participants à propos des parcours qu'ils ont produits. Les déclarations ont été regroupées par similarité.....	144
Figure 60 : Fiche récapitulative du langage MOT, d'après [Paquette et al., 2006]. Elle a été conçue pour être utilisée par les enseignants de SPCFA pour modéliser l'enseignement des changements d'état de l'eau, tel qu'il est pratiqué en classe de 5e.....	171
Figure 61 : Diagramme de classe UML du jeu sérieux « Défenses Immunitaires ».....	175
Figure 62 : Diagramme du schéma XML complet du modèle MoPPLiq.....	184

## Table des tableaux

Tableau 1 : Quelques exemples de jeux sérieux reposant sur des simulations du domaine avec leurs 5 dénominateurs communs.....	31
Tableau 2 : Tableau de synthèse des patrons de conception pour le jeu sérieux présents dans la bibliothèque de l'équipe MOCAH (Les patrons de conception suivis de la lettre « K » sont issus des travaux de [Kiili, 2007], ceux qui sont suivis de « GD » sont issus des travaux de [Björk & Holopainen, 2005]).....	48
Tableau 3 : Résultats des essais de modélisation de jeux sérieux avec MoPPLiq. « Adap. Dyn. » signifie « Adaptation Dynamique » au modèle de l'apprenant-joueur (voir aussi la section III.3 p.81). « Seq. » signifie « temps séquentiel » par opposition au temps continu « Cont. » qui ne tient pas compte de l'aspect discret du jeu et qui est compté globalement. « Objectifs Déc. » correspond à la présence d'objectifs quantifiés susceptibles d'être décrémentés au cours du jeu sérieux. « OK » indique une caractéristique qui a pu être bien décrite avec MoPPLiq, tandis que « Pas OK » indique une caractéristique pas ou mal décrite avec MoPPLiq. « ~ OK » indique que le jeu sérieux est bien modélisé sauf l'histoire qui l'accompagne.....	90
Tableau 4 : Exemples principaux des correspondances utilisées dans l'algorithme de transformation de modèle de Legadee et eAdventure vers MoPPLiq.....	95
Tableau 5 : Effectif de l'expérimentation menée sur APPLiq. Sont représentés ici les participants ayant répondu au premier questionnaire de présentation. Les données présentées dans ce tableau sont donc issues de déclarations des participants. Les alias sont présentés pour repérer les participants dans les autres tableaux de résultats.....	137
Tableau 6 : Nombre de participants à chaque étape à la fin de l'expérimentation.....	138
Tableau 7 : Capacité à se souvenir du scénario après avoir joué et après avoir examiné le scénario.....	139
Tableau 8 : Évaluation à partir de caractéristiques choisies des parcours pédago-ludiques créés par les participants.....	141
Tableau 9 : Évaluation à partir de caractéristiques choisies des parcours pédago-ludiques modifiés par les participants.....	142
Tableau 10 : Avis déclarés sur les parcours créés (étape 4) et modifiés (étape 5) par les participants.....	143
Tableau 11 : Types de remarques libres, faites par les participants à propos des parcours qu'ils ont produits, classées par thèmes.....	145
Tableau 12 : Différence d'appréciation de certains niveaux, déclarée par les participants avant (étape 2) et après (étape 6) utilisation d'APPLiq (plus le chiffre est élevé, plus le niveau est apprécié).....	146
Tableau 13 : Niveau d'adoption pour « Les Cristaux d'Éhère », exprimée par les participants à la fin de l'étape 2 et de l'étape 6.....	147
Tableau 14 : Volonté déclarée par les participants d'utiliser APPLiq à l'avenir.....	148

## Résumé

Cette thèse en informatique se situe dans le domaine des jeux sérieux destinés à l'apprentissage et s'intéresse à leur conception et aux outils auteurs d'adaptation.

Les jeux sérieux sont des Environnements Informatiques Pour l'Apprentissage Humain dont la conception nécessite la collaboration d'experts variés parmi lesquels les enseignants.

Pour faciliter la conception multi-expertise initiale des jeux sérieux mélangant motivation et apprentissage, nous proposons un cadre conceptuel, les **6 facettes de la conception des jeux sérieux**, qui aide les parties prenantes à collaborer à chaque étape de conception. Les 6 facettes sont enrichies par la **bibliothèque de patrons de conception** que nous proposons, et qui construit un vocabulaire favorisant la conception participative.

Pour permettre la co-conception des jeux sérieux dans l'usage par les enseignants, nous avons prolongé l'approche de la conception participative à celle du *meta-design*. Nous proposons un modèle et un outil auteur permettant aux enseignants d'adapter les jeux sérieux à leurs contextes spécifiques d'enseignement.

**MoPPLiq** est un modèle à la fois formel et graphique qui représente la scénarisation des jeux sérieux à étapes, de façon à la rendre compréhensible et manipulable. **APPLiq** est un outil auteur permettant de manipuler des modèles MoPPLiq, en maintenant leur cohérence grâce à une vérification et une compensation automatique de la planification.

Nos outils conceptuels (6 facettes et patrons de conception) et logiciels (MoPPLiq et APPLiq) ont été mis à l'épreuve lors de travaux de conception de jeux sérieux avec des partenaires publics et privés et avec des jeux sérieux utilisés par des enseignants.

**Mots-clés** : jeux sérieux, modèles, méta-modèles, outil auteur, cadre conceptuel, meta-design, conception participative.

## Abstract

**Title:** Tools and models for serious games design: a meta-design approach

This thesis in computer science is in the field of Serious Games (SGs) for learning, and focuses on design and authoring tools for adaptation.

SGs are Technology Enhanced Learning systems whose design requires collaboration of different types of experts among which teachers.

To help the initial multi-expertise design of the SGs that mix fun and learning, we propose a conceptual framework named the **6 Facets of the Design of SGs**, which helps stakeholders to collaborate at every stage of design. The 6 Facets are enhanced by the **design pattern (Dps) library** we offer, which builds a vocabulary promoting participatory design.

To enable teachers to co-design SGs during the use stage, we extend the participatory design approach to meta-design. We propose a model and an authoring tool that help teachers to adapt SGs to their specific teaching contexts.

**MoPPLiq** is a model, both formal and visual, representing the several stages of an SG. It is meant to be explicit and adaptable by teachers. **APPLiq** is an authoring tool meant to adapt instances of MoPPLiq models, and automatically check and compensate their inconsistencies.

Our conceptual tools (6 Facets and DPs) and software tools (MoPPLiq and APPLiq) were tested while designing SGs with public and private partners and with SGs used by teachers.

**Keywords:** serious games, models, meta-models, authoring tool, conceptual framework, meta-design, participatory design