

Thèse de l'Université de Lyon

Jeux Pédagogiques Collaboratifs Situés : Conception et mise en œuvre dirigées par les modèles

Pour obtention du titre de
Docteur de l'École Centrale de Lyon

École doctorale
Informatique et Mathématiques

Spécialité
Informatique

Par
Florent Delomier

Soutenue publiquement le 10 décembre 2013, devant la commission d'examen :

Thibault Carron	Maître de conférences HDR – UPMC Paris	Rapporteur
René Chalon	Maître de conférences - École Centrale de Lyon	Directeur
Nadine Couture	Professeur – ESTIA	Rapporteur
Bertrand David	Professeur - École Centrale de Lyon	Directeur
Serge Garlatti	Professeur - TELECOM Bretagne	Président
José Rouillard	Maître de conférences HDR - Université de Lille	Examineur
Franck Tarpin-Bernard	Professeur - Université de Grenoble	Examineur

Remerciements

Avant de passer au cœur du sujet, je souhaite remercier l'ensemble des personnes qui m'ont aidé et sans qui cette thèse n'aurait probablement pas eu les mêmes conclusions.

Ces remerciements commencent par le financeur du projet, la **DGCIS** (Direction Générale de la Compétitive, de l'Industrie et des Services) qui, en allouant des fonds dans le plan de relance à l'économie numérique, a permis au projet SEGAREM et à ma thèse d'exister.

Je remercie sincèrement Pr. **Bertrand David**, professeur à l'École Centrale de Lyon et directeur de thèse, d'en avoir à la fois permis la réalisation, merci aussi pour sa confiance, son appui, nos échanges constructifs, bien que tumultueux. Je remercie également Dr. **René Chalon**, Maître de conférences à l'École Centrale de Lyon et co-directeur de thèse, de m'avoir suivi régulièrement, de m'avoir grandement conseillé et d'avoir alimenté ma thèse par un discours passionné et précis. Merci à tous les deux de m'avoir à la fois encouragé dans ma démarche, tout en aiguillant cette démarche dans un cadre informatique. Merci aussi d'avoir eu le courage de relire un nombre important de fois cette thèse, afin d'améliorer la qualité du fonds et la forme.

Mes sincères remerciements à Pr. **Nadine Couture**, professeur à l'ESTIA et Dr **Thibault Carron**, maître de conférence à l'Université de Savoie, d'avoir eu le courage d'accepter d'être rapporteurs de ce travail, d'avoir consacré un temps certain à la relecture de cette thèse et m'avoir proposé des modifications claires et pertinentes. Merci beaucoup à Pr. **José Rouillard** d'avoir aussi accepté d'être dans mon jury et de son travail important vis-à-vis de la correction de cette thèse. Merci aussi à Pr. **Franck Tarpin-Bernard**, professeur à l'Université de Grenoble d'avoir accepté de participer à mon jury. Merci beaucoup à Pr. **Serge Garlatti**, professeur à TELECOM Bretagne de prendre le rôle de président du jury.

Merci beaucoup à **Audrey Serna** pour m'avoir proposé de réaliser les travaux dirigés en interaction homme-machine et conception centrée utilisateur au département Génie Industriel de l'INSA de Lyon durant ces deux dernières années. Cette expérience m'a permis entre autre de clarifier mes orientations de carrière.

Un autre grand merci à **Quentin Gouzènes** et à **Cyril Benazeth**, stagiaires et collègues au sein du projet, qui m'ont été d'un immense support en début et fin de thèse, pour permettre la réalisation des prototypes matériels et logiciels.

Au nom de toute l'équipe de recherche, je tiens aussi à remercier nos partenaires industriels de la société Symetrix, et plus particulièrement **Luca Bisognin** et **Yannick Lorio**, pour leur implication dans le projet et ce, malgré les difficultés conjoncturelles du contexte industriel.

Une petite mention spéciale à **Charlotte Orliac**, co-doctorante, merci d'avoir été là dans les moments de doute, avec une vision et culture proche de la mienne, associées à notre formation d'ingénieur, et bonne chance avec ton petit ! Merci aux aînés docteurs **Iza Marfisi**, **Madeth May** et **Chantao Yin** qui ont montré la voie, se sont cassés les dents et ont fait part de leurs expériences dans ce contexte si particulier qu'est la thèse !

Merci aussi à tous les collègues doctorants ainsi qu'aux différents services de l'étage qui ont permis d'égayer la monotonie des journées types d'un laboratoire de recherche.

Enfin, je finis cette liste de remerciement par ceux sans qui rien n'aurait été possible : **mes parents** Maria et Guy, que ce soit pour leur éducation, leur amour, leur support moral et financier depuis ma naissance. Merci Beaucoup !

Tables des matières

REMERCIEMENTS.....	3
TABLES DES MATIÈRES	4
CHAPITRE I : INTRODUCTION.....	9
I.1 MOTIVATION.....	9
I.2 CONTEXTE	10
I.3 PROBLÉMATIQUE DE RECHERCHES ET OBJECTIFS	11
I.4 APPROCHE.....	12
I.5 CONTRIBUTIONS.....	13
I.6 PLAN DE LA THÈSE.....	14
CHAPITRE II : APPRENTISSAGE DE CONNAISSANCES ET ACTIVITÉS ASSOCIÉES	15
II.1 DÉFINITIONS DE L'APPRENTISSAGE.....	15
II.2 THÉORIES DE L'APPRENTISSAGE : COURANTS PRINCIPAUX.....	16
II.2.1 <i>Les courants centrés sur les facteurs externes</i>	16
II.2.2 <i>Les courants centrés sur les facteurs internes</i>	17
II.2.3 <i>Les courants centrés sur les interactions entre sujets et environnements</i>	18
II.3 DESCRIPTION DE L'APPRENTISSAGE	19
II.3.1 <i>Facteurs internes</i>	20
II.3.2 <i>Facteurs interactionnels</i>	25
II.4 CONCLUSION DU CHAPITRE	35
PARTIE I : REALITE MIXTE ET CONCEPTION DE PROTOTYPE INTERACTIF	37
CHAPITRE III : ÉTAT DE L'ART SUR LES ACTIVITÉS EN ENVIRONNEMENTS MIXTES ET UBIQUITAIRES	37
III.1 INTRODUCTION	38
III.1.1 <i>Réalité ? Virtualité ?</i>	38
III.1.2 <i>Évolution des tendances scientifiques</i>	39
III.1.3 <i>Structuration de la problématique RM</i>	48
III.2 LES DIFFÉRENTS TYPES DE DISPOSITIFS TECHNOLOGIQUES	49
III.2.1 <i>Dispositifs de sortie</i>	50
III.2.2 <i>Dispositifs d'entrée</i>	52
III.2.3 <i>Exemples de prototypes</i>	58
III.2.4 <i>Solutions logicielles de détection et suivi d'objet</i>	61
III.3 APPORTS DE L'UTILISATION DES ENVIRONNEMENTS DE RÉALITÉ MIXTE	63
III.3.1 <i>Amélioration de l'environnement d'apprentissage</i>	63
III.3.2 <i>Apports pédagogiques</i>	65
III.3.3 <i>Apports motivationnels</i>	66
III.4 EXEMPLES D'ENVIRONNEMENTS MIXTES	67
III.4.1 <i>Bureautique</i>	67
III.4.2 <i>Livre</i>	70
III.4.3 <i>Conception</i>	71
III.4.4 <i>Transport</i>	73
III.4.5 <i>Santé</i>	75
III.4.6 <i>Jeu</i>	76
III.4.7 <i>Enseignement et Apprentissage contextuels</i>	78
III.4.8 <i>Jeu pédagogique</i>	82
III.5 SYNTHÈSE.....	84
III.6 CONCLUSION DU CHAPITRE	87

CHAPITRE IV : CONCEPTION ET RÉALISATION DE PUPITRES INTERACTIFS AUGMENTÉS.....	89
IV.1 LES BESOINS ET CONTRAINTES IDENTIFIÉS	90
IV.1.1 <i>Contraintes</i>	90
IV.1.2 <i>Besoins</i>	90
IV.2 SOLUTIONS RETENUES ET MISES EN ŒUVRE	91
IV.2.1 <i>Modularité et choix du dimensionnement</i>	91
IV.2.2 <i>Solutions technologiques</i>	94
IV.2.3 <i>Choix de la technique de détection</i>	95
IV.3 SOLUTIONS LOGICIELLES	97
IV.3.1 <i>Architecture logicielle de TUIO</i>	97
IV.3.2 <i>Protocole de communication</i>	98
IV.3.3 <i>Profils d'objets interactifs utilisés</i>	99
IV.3.4 <i>Exemple de message issu du protocole TUIO</i>	100
IV.3.5 <i>Différentes utilisations de TUIO</i>	100
IV.3.6 <i>Synthèse sur les solutions logicielles utilisées</i>	101
IV.4 DIFFÉRENTES INTERACTIONS POSSIBLES.....	101
IV.4.1 <i>Objets physiques posés sur la table</i>	102
IV.4.2 <i>Outils tangibles utilisés au-dessus du pupitre</i>	103
IV.4.3 <i>Tentatives non retenues</i>	105
IV.5 AUTRES PROJETS RÉALISÉS AUTOUR DES PUPITRES.....	107
IV.5.1 <i>Apprentissage collaboratif de Brainstorming</i>	107
IV.5.2 <i>Création musicale assistée par interface tangible</i>	108
IV.5.3 <i>Tangible Warhammer</i>	109
IV.6 CONCLUSION DU CHAPITRE	110
PARTIE II : JEUX PEDAGOGIQUES COLLABORATIFS SITUÉS : CONCEPTION ET REALISATION	111
CHAPITRE V : DU JEU AU JEU PÉDAGOGIQUE COLLABORATIF SITUÉ : DÉFINITIONS, MODÈLES ET MÉTHODES DE CONCEPTIONS	113
V.1 LES JEUX.....	113
V.1.1 <i>Définition du jeu</i>	113
V.1.2 <i>Acteurs concernés</i>	114
V.1.3 <i>Motivations des joueurs</i>	115
V.1.4 <i>Mécaniques de jeux</i>	118
V.1.5 <i>Méthodes de conception des jeux</i>	126
V.1.6 <i>Modèles de Jeux</i>	127
V.1.7 <i>Outils d'aide à la conception des jeux</i>	131
V.1.8 <i>Synthèse sur les jeux</i>	136
V.2 LE JEU PÉDAGOGIQUE	136
V.2.1 <i>Jeu Sérieux et Ludification</i>	136
V.2.2 <i>Jeu d'apprentissage</i>	139
V.2.3 <i>Modèles de jeux pédagogiques</i>	143
V.2.4 <i>Méthodes de conception de jeux pédagogiques</i>	149
V.3 JEUX PÉDAGOGIQUES COLLABORATIFS SITUÉS.....	154
V.3.1 <i>Définition</i>	154
V.3.2 <i>Intégration du contenu pédagogique dans les éléments du JPCS</i>	155
V.3.3 <i>Aspects collaboratifs des JPCS</i>	155
V.3.4 <i>Méthode de conception d'un JPCS</i>	158
V.4 CONCLUSION DU CHAPITRE	161

CHAPITRE VI :	MODÈLES, ARCHITECTURE ET MÉTHODE DE CONCEPTION DE JPCS.....	163
VI.1	NOS MODÈLES COMPORTEMENTAUX DE JPCS.....	164
VI.1.1	<i>Fondements théoriques.....</i>	164
VI.1.2	<i>Modèles d'orchestration de l'activité.....</i>	173
VI.1.3	<i>Modèle de tâches.....</i>	178
VI.1.4	<i>Modèle de déploiement de l'environnement mixte interactif (IME-DEMO).....</i>	180
VI.1.5	<i>Modèle de déploiement des objets – O-DeMo.....</i>	187
VI.1.6	<i>Modèle des objectifs du JPCS.....</i>	188
VI.1.7	<i>Modélisation des interactions homme-machine en environnement mixte.....</i>	191
VI.2	NOTRE MODÈLE D'ARCHITECTURE DE JPCS.....	200
VI.2.1	<i>Fondement théorique sur les architectures IHM.....</i>	201
VI.2.2	<i>Notre proposition d'agents AMF-C pour structurer le JPCS.....</i>	206
VI.3	NOTRE MÉTHODE DE CONCEPTION DE JPCS.....	215
VI.3.1	<i>Méthode CocSys comme point de départ.....</i>	215
VI.3.2	<i>Présentation générale.....</i>	219
VI.3.3	<i>Classification et formalisation des règles.....</i>	219
VI.3.4	<i>Modéliser les aspects fonctionnels du jeu.....</i>	220
VI.3.5	<i>Définir les comportements des entités du jeu.....</i>	220
VI.3.6	<i>Projeter les modèles sur l'architecture.....</i>	226
VI.4	NOS OUTILS D'AIDE À LA CONCEPTION, UTILISATION ET ÉVALUATION.....	230
VI.4.1	<i>Un outil d'aide à la conception.....</i>	230
VI.4.2	<i>Un outil de support d'utilisation.....</i>	232
VI.4.3	<i>Un outil de mesures et de supervision.....</i>	232
VI.5	CONCLUSION DU CHAPITRE.....	234
CHAPITRE VII :	CONCEPTION, MISE EN ŒUVRE ET ÉVALUATION DE LEA(R)NIT.....	237
VII.1	BUCKINGHAM LEAN GAME, VERSION PHYSIQUE DU JEU.....	237
VII.1.1	<i>Un contenu pédagogique.....</i>	237
VII.1.2	<i>Une simulation de chaîne de production.....</i>	238
VII.1.3	<i>Des améliorations discutées avec l'expert pédagogique.....</i>	241
VII.2	LEA(R)NIT COMME VERSION INFORMATISÉE (MIXTE) DU JEU.....	241
VII.2.1	<i>Univers fictionnel du jeu.....</i>	241
VII.2.2	<i>Simulation de la chaîne de production.....</i>	242
VII.3	CONCEPTION DE LEA(R)NIT.....	251
VII.3.1	<i>Modélisation du comportement de Lea(r)nIT.....</i>	251
VII.3.2	<i>Création des classes du jeu.....</i>	257
VII.3.3	<i>Structuration des zones d'interface.....</i>	258
VII.4	ÉVALUATION.....	259
VII.4.1	<i>Objectifs.....</i>	259
VII.4.2	<i>Organisation de l'expérimentation.....</i>	259
VII.4.3	<i>Données collectées.....</i>	260
VII.4.4	<i>Résultats.....</i>	263
VII.4.5	<i>Conclusion de l'évaluation.....</i>	267
CHAPITRE VIII :	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	269
VIII.1	CONTRIBUTIONS.....	269
VIII.2	PERSPECTIVES.....	270
VIII.3	PUBLICATIONS.....	271
BIBLIOGRAPHIE.....	273	

ANNEXE 1 : MODÈLES D'ACTIVITÉS COLLABORATIVES	297
ANNEXE 2 : MODÈLES D'ARCHITECTURE DE SYSTÈMES INTERACTIFS	303
ABSTRACT	309
RÉSUMÉ	310

Chapitre I : Introduction

I.1	MOTIVATION.....	9
I.2	CONTEXTE	10
I.3	PROBLÉMATIQUE DE RECHERCHES ET OBJECTIFS	11
I.4	APPROCHE	12
I.5	CONTRIBUTIONS.....	13
I.6	PLAN DE LA THÈSE.....	14

I.1 Motivation

Cette thèse est à la croisée de quatre tendances :

- l'informatisation des activités d'apprentissage ;
- l'informatisation des activités collectives ;
- la ludification des activités humaines ;
- la fusion des environnements physiques et des environnements numériques ;

L'informatisation des activités de formation et d'enseignement a donné naissance aux **Environnements Informatisés d'Apprentissage Humain** (EIAH) utilisant des systèmes informatiques (avec computations, modélisations et inscriptions matérielles) pour permettre l'apprentissage humain (avec activités, connaissances requises et objectifs pédagogiques). Ce type d'environnements informatiques est principalement utilisé pour favoriser et susciter des apprentissages, les accompagner et les valider.

La ludification des activités c'est-à-dire leurs transformations en activités plus ludiques est une des tendances actuelles, utilisant le potentiel dynamique et interactif des environnements informatiques pour favoriser la motivation et l'engagement des joueurs. Le **Jeu Sérieux** (Serious Game) est un logiciel utilisant ce potentiel ludique dans des applications n'ayant pas pour objectif premier le divertissement, par l'utilisation d'éléments caractéristiques d'un jeu dans un contexte non ludique.

Pertinent dans de nombreux domaines, l'ajout d'éléments ludiques se révèle particulièrement utile dans l'enseignement et la formation. Les jeux sérieux pour l'éducation sont appelés **jeux pédagogiques** (Learning Games) et concilient les dimensions pédagogiques de l'activité avec un scénario, des interactions, des règles et des objectifs issus des dimensions ludiques.

L'étude des **collecticiels** (logiciels utilisés en groupe) et de l'intégration des caractéristiques collectives à l'activité se fait en informatique grâce au Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur (TCAO), en particulier pour la conception, la construction et l'utilisation (usages) des systèmes coopératifs. Dans cette thèse, nous nous intéressons spécifiquement aux jeux pédagogiques utilisés dans le cadre de formation continue et de formation professionnelle. Nous nous intéressons à des activités faites en groupe et donc nous pouvons utiliser le potentiel des dynamiques collaboratives, coopératives et compétitives. Les relations entre acteurs humains rendent la découverte de connaissances et la construction de compétences plus attrayantes et plus efficaces, et ainsi positionnent les apprenants dans une situation favorable à leur propre apprentissage. Nous appelons **jeu pédagogique collaboratif** la réunion de ces trois tendances.

Nous proposons en plus l'utilisation d'une des tendances des interactions homme-machine : la **réalité mixte** (RM). Celle-ci permet d'envisager une fusion perceptuelle des mondes physique et numérique et ainsi une continuité entre les activités faites dans chacun des deux environnements. Les environnements de réalité mixte permettent en effet :

- la **contextualisation** des activités d'apprentissages en environnement professionnel - avec utilisation de **réalité augmentée** ;
- des actions plus authentiques et naturelles - avec l'utilisation **d'interfaces tangibles**.

L'utilisation de ce type d'environnement se justifie par un besoin identifié dans certaines recherches : les jeux pédagogiques peuvent rendre l'activité réalisée trop artificielle notamment par manque de contextualisation de l'apprentissage dans l'environnement d'utilisation des connaissances apprises. L'activité simulée, trop loin de la réalité de l'activité professionnelle, et la réalisation de l'activité dans un lieu neutre, comme la classe, rendent certaines situations trop abstraites et/ou trop simplistes, et ainsi peu adaptées à l'apprentissage.

L'association de ces différents concepts permet la création d'un dernier, au centre de l'ensemble de ces considérations : **le Jeu Pédagogique Collaboratif Situé** (JPCS). Les JPCS sont ainsi un mélange d'EIAH, de collectif, de jeu et d'environnements mixtes (figure 1). Nous les définissons (V.3) comme « des **outils pédagogiques** mettant en œuvre **des mécaniques de jeu** se déroulant dans un environnement prenant en compte les caractéristiques **physiques** et **numériques** et supportant l'apprentissage **collectif** de résolution de problèmes ».

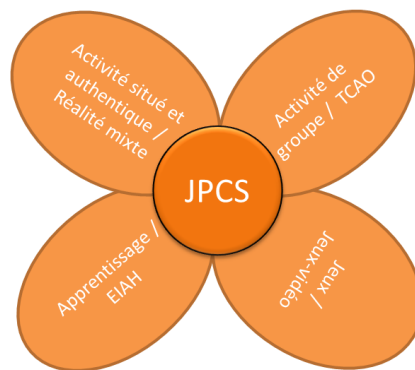


Figure 1 : Le Jeu Pédagogique Collaboratif Situé à la croisée de 4 tendances

Étant donné l'ensemble des approches intervenant dans la scénarisation et la conception du système du JPCS, nous pouvons les mettre en relation avec de nombreuses disciplines (figure 2):

1. une vision pédagogique (science de l'éducation - psychologie) qui s'intéresse aux choix des méthodes d'apprentissage et à l'étude de leurs impacts. Cette vision permet de définir les cibles et objectifs des JPCS ;
2. une vision ludique (jeu) qui s'intéresse spécifiquement à la manière de proposer un artefact motivant et assurant une expérience engageante ;
3. une vision situationnelle qui s'intéresse à l'importance de la contextualisation environnementale (physique et numérique) ;
4. une vision organisationnelle qui s'intéresse à l'importance des caractéristiques sociales de l'activité (collaboration/compétition...).

I.2 Contexte

La direction générale de la compétitivité, de l'industrie et des services (DGCIS) a proposé pour la période 2010-2013 un financement national sur le développement d'outils professionnels

innovants recourant à des techniques issues du jeu vidéo. Labélisé par le pôle de compétitivité Imaginove, le projet SEGAREM (SErious Game et RÉalité Mixte) a été soumis et accepté au sein de cet appel et a permis le financement de cette thèse ainsi que celle de Charlotte Orliac. Le projet SEGAREM s'appuie sur trois acteurs : un partenaire académique, le LIRIS (quatre professeurs, quatre maîtres de conférences, deux doctorants) et deux partenaires industriels : Symetrix (quatre personnes) et Total Immersion (deux personnes).

Ce projet avait un quadruple objectif de recherche (figure 2) :

- la modélisation de scénarios des jeux pédagogiques, adaptables et réutilisables pour assurer la flexibilité et l'évolutivité des systèmes développés ;
- la modélisation des objets de l'environnement de réalité mixte ;
- la définition d'un processus de production, des environnements de conception/production qui les fédèrent et d'un environnement d'exécution supportant des technologies avancées d'interaction ;
- la réalisation de différents cas d'études et l'évaluation de la valeur ajoutée apportée par des techniques du jeu et des environnements de réalité mixte.

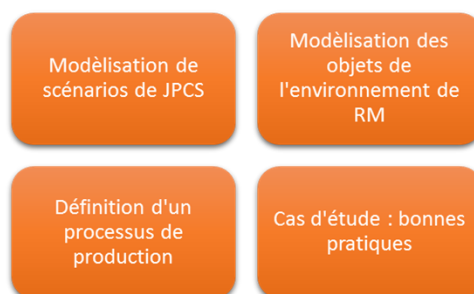


Figure 2 : Les objectifs du projet SEGAREM

I.3 Problématique de recherches et objectifs

Le projet SEGAREM, en proposant un cas d'étude complet (objectif 4 du projet SEGAREM), a permis l'étude et l'exploration des considérations liées à de la conception de JPCS. Ainsi, nous avons pu théoriser certains aspects de la conception d'un JPCS, en particulier au niveau de deux phases de conception :

1. la scénarisation ludo-éducative, afin de faire émerger une idée de jeu pertinente et de la formaliser sous forme de cahier des charges ;
2. la conception et la production du système de jeu (le jeu et son environnement), afin de transformer l'idée formalisée en phase 1 en un environnement fonctionnel, supportant le JPCS.

Cette séparation entre ces deux phases constitue également une séparation entre les travaux réalisés par Charlotte Orliac et les nôtres. À noter qu'une troisième phase de conception a été réalisée dans le cadre du cas d'étude : l'évaluation du JPCS, pour confirmer ou améliorer les apports de l'outil pédagogique.

Ainsi, nous nous sommes centrés sur la conception et la production de l'environnement (physique et numérique) d'exécution du jeu et en particulier sur :

- les moyens pour accompagner les jeux sérieux par l'approche "Réalité Augmentée" (RA) et l'approche "Interface Tangible" (IT). (objectif 2 du projet SEGAREM) ;
- la proposition d'un modèle d'activité, d'environnement et d'interaction décrivant le JPCS (objectif 2 du projet SEGAREM) ;

- la mise en place d'une méthode de conception et de mise en œuvre des JPCS explicite et plus systématique (objectif 3 du projet SEGAREM).

I.4 Approche

Les JPCS peuvent être vus selon différents angles :

1. une vision créative, qui s'intéresse à l'imagination de l'idée ludo-pédagogique associée à une vision technologique ;
2. une vision d'ingénierie (informatique) qui permet la création du jeu et s'intéresse aux moyens à mettre en place pour proposer le support de jeu ;
3. une vision analytique pour l'évaluation du jeu, qui s'intéresse à l'impact du dispositif pédagogique.

Nous avons corrélé les différents tendances et angles de vues dans la Figure 3, permettant de mettre en avant les différents métiers et disciplines associés à la conception de JPCS.

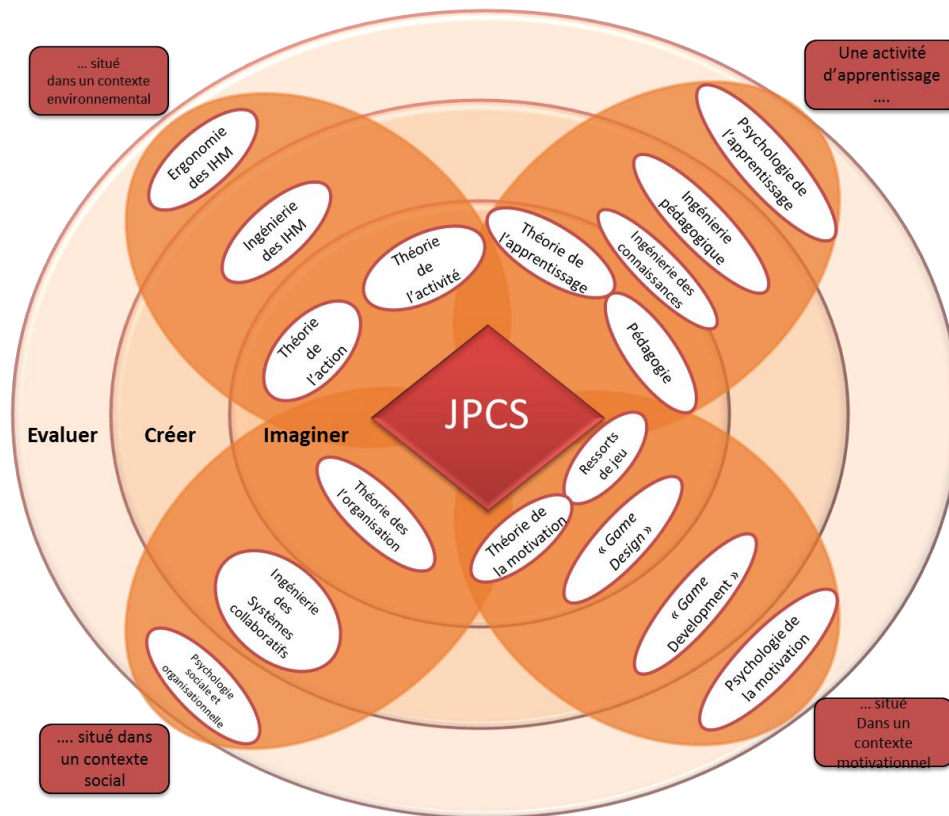


Figure 3 : Le JPCS au croisement de nombreuses disciplines

Nous proposons dans ce mémoire des considérations issues de l'ensemble de ces angles d'approche pour ce qui est de l'état de l'art, puis nous nous concentrons sur l'aspect informatique pour ce qui est de nos contributions.

L'approche que nous proposons s'appuie sur deux versants :

- la conception centrée « utilisateur », pour la réalisation du prototype ;
- la conception centrée « modèle » pour la généralisation théorique.

L'approche de conception centrée « utilisateur » positionne les utilisateurs et leurs besoins au cœur des problématiques de conception. Pour cela, les prototypes sont réalisés itérativement et permettent d'avoir des retours réguliers des utilisateurs et une adéquation entre les souhaits

et les possibilités du système. L'utilisation de modèles a été choisie pour rendre explicite les exigences et permettre, dans une démarche pluridisciplinaire, d'avoir plusieurs vues sur le système. L'utilisation d'une architecture multicouche et multi-agents nous permet d'avoir un moteur générique de JPCS, coordonnant les différents comportements du système. L'approche modèle, associée à cette architecture d'accueil permet d'instancier formellement les entités et les comportements du JPCS et ainsi de faciliter leur production par spécialisation. Ainsi, notre architecture générique permet l'exécution du système et son paramétrage à partir des données issues des modèles. Nous avons réalisé des allers-retours incessants à chaque itération entre nos différentes contributions de manière à prendre en compte les nouveaux apports de la méthode et confirmer leurs intérêts.

I.5 Contributions

Nous avons, dans le cadre de SEGAREM :

- conçu et produit des pupitres interactifs augmentés comme environnement d'utilisation d'interface tangible et tactile ;
- conçu et produit un exemple de JPCS : Lea(r)nIT, basé sur une simulation de chaîne de production pour favoriser l'apprentissage des méthodes de Lean Manufacturing. Cet exemple est l'occasion de proposer un démonstrateur technologique, méthodologique et une évaluation.

Les itérations sur les différentes versions des pupitres et du JPCS sont autant d'occasions d'emmagasiner de l'expérience au cours des évolutions successives des différents pupitres et différentes versions de jeux proposés. En parallèle, nous avons mené une réflexion plus théorique sur la production de JPCS, menant à **une forme générique de JPCS**.

Cette réflexion nous a mené à dégager six modèles dont certains sont des extensions de modèles issus de notre laboratoire, d'autres sont des modèles utilisés par la communauté et enfin pour les derniers de nouveaux modèles proposés pour les considérations non traitées.

Ainsi, nous proposons une extension du **modèle ORCHESTRA** pour la description des activités collaboratives et du **modèle IRVO** pour la description des interactions en environnement mixte. Une utilisation du **modèle CTT** est proposée pour la modélisation des tâches possibles par l'utilisateur. Les nouveaux modèles permettent de décrire l'état et le comportement des différentes entités du jeu, la structure topologique de l'environnement du jeu, l'état initial de l'environnement à chaque nouvelle phase de jeu et l'état final de l'environnement de jeu respectivement par les **modèles d'objets, modèles d'environnements, modèles d'état initial et d'état final**.

Pour valuer ces modèles lors de la spécification d'un JPCS donné, nous utilisons des éditeurs contextuels qui produisent comme résultat des fichiers de descriptions, utilisables par l'**architecture générique d'exécution**. Cette architecture se base sur des modèles déjà proposés dans le milieu de l'ingénierie des interfaces homme-machines et permet une instanciation des objets et comportements à produire. Nous précisons ainsi comment chacun des modèles est utilisé par l'architecture et leurs influences sur le comportement du JPCS.

Afin d'organiser nos différents modèles et outils, nous proposons une **méthode de développement** permettant une transposition des besoins et contraintes issus du cahier des charges en modèles puis en entités informatiques directement utilisable par l'environnement d'exécution des JPCS.

I.6 Plan de la thèse

Nous avons structuré cette thèse en deux parties. La première partie sur la conception des environnements de réalité mixte est structurée en deux chapitres :

- nous décrivons dans le **Chapitre III** différentes visions sur les environnements de réalité mixte : une vision conceptuelle, une vision orientée conception et une vision orientée production des dispositifs technologiques associés ;
- nous décrivons dans le **Chapitre IV** notre contribution en ce qui concerne la conception et la mise en œuvre de pupitres interactifs assemblables avec prise en compte d'interactions tactiles et tangibles.

La seconde partie sur la conception de JPCS structurée en trois chapitres :

- nous décrivons dans le **Chapitre V** un état de l'art sur les jeux pédagogiques et les jeux, que ce soit du point de vue de leurs caractéristiques motivationnelles et fonctionnelles, leurs modèles et leurs méthodes de conception. ;
- nous décrivons dans le **Chapitre VI** notre contribution concernant une méthode de conception, sur les modèles conçus et/ou utilisés, et sur les outils impliqués dans cette méthode de conception ;
- nous décrivons enfin dans le **Chapitre VII** notre cas d'étude Lea(r)nIT par sa forme antécédente, sa conception, sa production et son évaluation.

Ces deux parties sont précédées par l'introduction et le chapitre II, introduction sur l'apprentissage et les éléments déterminants du processus associé (motivation, pédagogie active, apprentissage collaboratif et apprentissage situé).

Le **Chapitre VIII** constitue la conclusion de ce mémoire où nous dressons le bilan des contributions apportées, nous discutons à la fois leurs limites et les perspectives de notre activité de recherche.

Les contributions que nous proposons sont réparties dans les différents chapitres selon une organisation synthétisée en Figure 4.

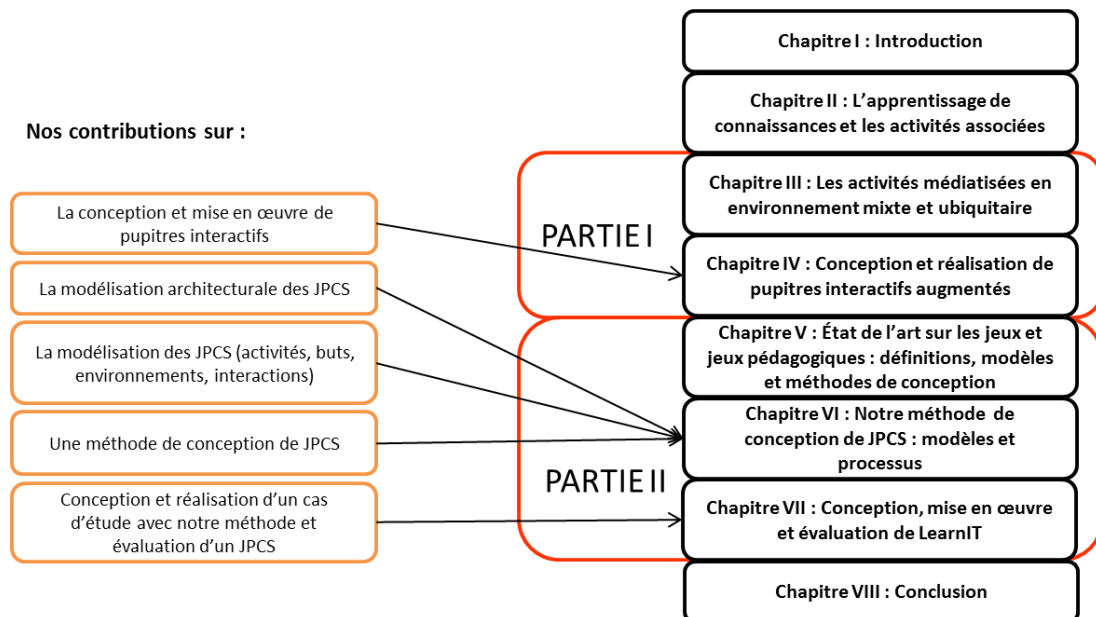


Figure 4 : Répartition des contributions dans les chapitres

Chapitre II : Apprentissage de connaissances et activités associées

II.1	DÉFINITIONS DE L'APPRENTISSAGE	15
II.2	THÉORIES DE L'APPRENTISSAGE : COURANTS PRINCIPAUX.....	16
II.2.1	<i>Les courants centrés sur les facteurs externes</i>	16
II.2.2	<i>Les courants centrés sur les facteurs internes</i>	17
II.2.3	<i>Les courants centrés sur les interactions entre sujets et environnements</i>	18
II.3	DESCRIPTION DE L'APPRENTISSAGE	19
II.3.1	<i>Facteurs internes</i>	20
II.3.2	<i>Facteurs interactionnels</i>	25
II.4	CONCLUSION DU CHAPITRE	35

Cette thèse porte sur la conception et la réalisation de JPCS, mais avant d'entrer dans les considérations informatiques, nous proposons dans ce chapitre des aspects théoriques de l'apprentissage qui identifient et justifient les caractéristiques de nos JPCS.

II.1 Définitions de l'apprentissage

Pour définir l'apprentissage, il est nécessaire de présenter les cadres dans lesquels il a été étudié, car les définitions relatives à l'apprentissage sont, en fonction du cadre présenté, radicalement différentes.

Le mot « apprendre » vient du latin *apprehendere* « prendre, saisir, attraper ». Il est ainsi étymologiquement associé à un transfert de l'extérieur vers l'individu. Ce sens est proche du sens commun où l'apprentissage peut être défini comme **l'acquisition d'une connaissance, d'un savoir-faire ou d'un savoir-être**. Ainsi, deux caractéristiques principales définissent un apprentissage : à la fois une **acquisition**, un processus cognitif et social, outillé ou non, et aussi un **objet** de l'apprentissage. Le verbe peut-être à la fois utilisé dans sa forme simple et de manière transitive (apprendre à quelqu'un). La distinction se fait au niveau de l'importance de l'apprenant ou du tuteur.

Ainsi, l'apprentissage est la base d'une transmission de connaissances, que ce soit entre les différentes générations ou avec ses pairs, permettant une acquisition des connaissances à un niveau personnel et une conservation des connaissances à un niveau sociétal. Cette connaissance, apprise de nos parents, de nos professeurs, de nos collègues, ou de nos amis, apporte une manière de voir le monde ou d'agir dessus.

Cependant, trouver un cadre commun de définition de l'apprentissage n'est pas simple, car la plupart des définitions sont intimement dépendantes du courant de pensée de leurs auteurs (le processus d'apprendre est différent selon les écoles). Il est donc nécessaire, pour proposer des définitions de l'apprentissage, d'expliquer l'évolution des différents courants de pensée sur l'apprentissage.

Une autre notion importante pour la compréhension du transfert de connaissances est liée à l'instruction et l'éducation. Instruction et éducation sont données à l'individu, à l'inverse de

l'apprentissage qui est reçu. Nous parlons ici de **pédagogie** pour nommer les **théories sur les pratiques et méthodes utilisées pour permettre l'apprentissage** par l'instruction et l'éducation.

II.2 Théories de l'apprentissage : courants principaux

Le processus de l'apprentissage, étudié depuis la Grèce Ancienne, a été étudié par de nombreuses écoles de pensée. Progressivement, les écoles ont pris en compte divers facteurs d'influence de l'apprentissage :

- le sujet ;
- son environnement (social ou physique) ;
- les interactions entre sujet et environnement.

Ces trois angles de vue constituent une classification des courants en psychologie de l'apprentissage, rappelée en Figure 5. Les mouvements rationaliste, empiriste et comportementaliste sont centrés sur les facteurs externes au sujet. Les mouvements cognitiviste et connexionniste sont centrés sur le sujet, alors que le constructivisme et le socioconstructivisme sont centrés sur les interactions sujet-environnement et sujet-autres sujets.

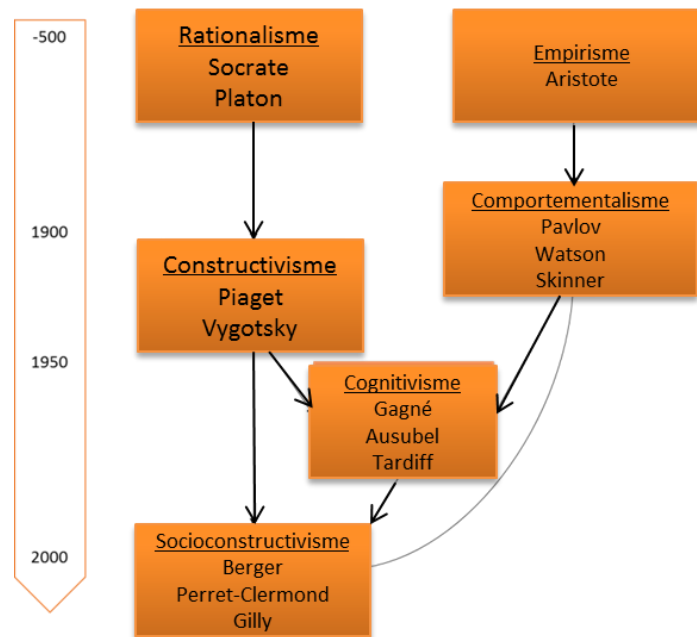


Figure 5 : Historique des courants théoriques de l'apprentissage (adapté de Minier, 2003)

Sensibles à l'ensemble des méthodes pédagogiques employées, au processus interne d'apprentissage (en particulier l'influence de la motivation et de l'action de l'apprenant), à l'activité demandée et à l'influence du contexte social et environnemental, nous mettons en évidence ici des facteurs externes et internes de l'apprentissage et des facteurs interactionnels entre apprenant et contexte socio-environnemental.

II.2.1 Les courants centrés sur les facteurs externes

La conception **transmissive** de l'apprentissage correspond à la très ancienne méthode qui consiste à placer un élève dans une situation où il doit être attentif, écouter, suivre, imiter,

répéter et appliquer. On peut considérer son origine aux environs de 500 av. J.-C., avec l'apparition du rationalisme. Selon ce modèle, le processus d'apprentissage est centré sur la relation maître-élève, avec un maître qui par son discours et ses actes transmet le savoir.

Ce modèle, illustré par certains auteurs comme une boîte vide que l'on remplit petit à petit, tient le savoir enseigné comme un objet extérieur à la cognition. La méthode d'enseignement « magistrale » (ou « frontale ») conceptualisée par Locke (Locke, 1693) considère que la connaissance transmise par l'enseignant s'imprime en tête comme dans de la cire molle. Ainsi, dans le processus d'apprentissage, le professeur possède une position dominante, est responsable du choix des niveaux des cours et des exercices à donner. Il détermine seul le rythme de progression des difficultés et évalue ainsi une éventuelle aide aux élèves.

L'empirisme, autre courant issu de la philosophie édénique, base sa pensée sur la construction de connaissances et de théories à partir d'expériences. Les connaissances et l'entendement résultent de l'expérience. Le courant **comportementaliste** (Watson, 1913), successeur de l'empirisme, définit l'apprentissage comme la modification du comportement. Une des théories de Skinner (Skinner, 1968) est d'avoir besoin de passer différents paliers pour pouvoir apprendre correctement. Le passage d'un palier à un autre s'effectue par le renforcement positif et les résultats des actions réalisées. Cette théorie est très influente dans la pédagogie actuelle, par l'utilisation de classe séparant les niveaux des élèves et de programme scolaire cyclique, où l'apprentissage est réalisé de manière à être de plus en plus précis sur les apprentissages effectués dans les différents cycles. La structure pédagogique de l'apprentissage d'un sujet à partir d'un cycle court : test initial, remédiation, test final.

Ces méthodes transmissives et comportementalistes sont depuis bien longtemps critiquées et n'ont plus la cote auprès des pédagogues et des psychologues. Ruben (Ruben, 1999) détaille certaines faiblesses des méthodes transmissives et comportementalistes :

- la non-prise en compte de l'intégralité du processus d'apprentissage. Apprendre est un processus d'acquisition continu, réalisé en classe, mais aussi en dehors, que ce soit en lisant, en faisant la cuisine, en regardant un paysage ou en discutant avec un inconnu ;
- l'évaluation de l'acquisition des connaissances se base sur la capacité des élèves à retransmettre ces mêmes connaissances. Or, la meilleure preuve de l'acquisition de connaissances réside dans la capacité à utiliser ces mêmes connaissances et non leur reformulation ;
- l'évaluation traditionnelle n'est pas faite dans un objectif de développement personnel, ni d'acquisition de métacapacité de sélection des informations ;
- l'apprentissage est quasiment exclusivement fourni par un expert sans considération sur les aspects sociaux et coopératifs ;
- un apprentissage riche utilise différentes formes de pédagogie avec importance de la créativité comme moteur de développement.

De ce type de constat, d'autres études ont été effectuées, se centrant plus sur l'apprenant en tant que sujet et sur les interactions de l'apprenant avec son environnement.

II.2.2 Les courants centrés sur les facteurs internes

Le courant **cognitivist** définit et modélise les fonctions cognitives de l'apprenant (la perception, la mémorisation, l'accès aux représentations mentales et le langage) selon une logique basée sur la théorie du traitement de l'information (Shannon, 1948).

L'activité humaine est étudiée par l'analyse des activités mentales et des processus qui permettent la réalisation d'une action. Pour cela, les cognitivistes cherchent à faire le lien entre représentations, structures cérébrales et processus cognitifs. Les modèles utilisés en psychologie cognitive sont basés sur des cas de patients cérébrolésés et une induction de l'existence de fonctions ou de successions de fonctions associées aux handicaps du patient.

Le processus d'apprentissage, étudié en tant qu'activité cognitive, est corrélé à différentes fonctions qui influencent directement la vitesse et la facilité d'apprentissage. Nous détaillons dans la suite du chapitre, différents processus clés dans l'apprentissage tel que la mémorisation, l'attention et l'engagement.

II.2.3 Les courants centrés sur les interactions entre sujets et environnements

Le courant **socioconstructivisme** s'intéresse à l'apprenant dans son environnement social et physique. Cette approche est généralement attribuée à Vygotsky (Vygotsky, 1934) (Vygotsky, 1978). L'apprenant construit son savoir lui-même dans un environnement où d'autres personnes, ayant des rôles, connaissances et personnalités sont présentes.

Dans les techniques courantes, l'enseignant organise l'activité autour des relations sociales entre apprenants. Le conflit sociocognitif est l'une des principales notions du socioconstructivisme, correspondant aux différences de compétences entre les différents apprenants. En utilisant ces différences, les élèves, en confrontant leurs savoirs à ceux des autres, développent des capacités d'apprendre à apprendre. Dans cette configuration, l'enseignant devient un guide, un tuteur, un informateur expert, un questionneur et il renvoie l'apprenant à ses propres questionnements.

Ce modèle pédagogique met en œuvre quatre aspects :

- la dimension cognitive ;
- la dimension affective qui regroupe les aspects motivants chez les apprenants ;
- la dimension métacognitive comme la verbalisation des connaissances ;
- la dimension communicationnelle qui permet d'écouter autrui, de confronter et d'échanger des idées.

Si ce courant étudie largement les interactions entre l'homme et ses paires, il ne s'intéresse qu'assez peu à l'environnement physique dans le processus d'apprentissage. D'autres courants, comme ceux de la « **psychologie de l'environnement** » et la « **cognition située** » proposent des bases plus significatives sur ce sujet.

La « psychologie de l'environnement » est l'étude des interactions dynamiques existant entre l'homme et l'environnement physique dans lequel il évolue. Barker (Barker, 1968) et Schoggen (Schoggen, 1989) sont deux piliers du domaine de l'« ecological psychology ». L'étude de l'environnement se fait au travers d'unité environnementale (configuration comportementale) en mettant en corrélation comportement et situation dans un environnement spécifique. Moser (Moser et al., 2003) propose pour définition de la psychologie environnementale, « l'étude des interrelations entre l'individu et son environnement physique et social, dans ses dimensions spatiales et temporelles ».

Ce courant est à rapprocher du mouvement de cognition incarnée (embodiment), cherchant à reprendre et unifier les considérations préétablies par les courants socioconstructivistes et cognitiviste : la « **cognition située** » (Embodiment cognition) (Varela et al., 1992) (Rogers, 1993)

(Rogers et al., 1994) (Hutchins, 1995) et « **l'apprentissage situé** » (Lave et al., 1991). L'homme n'est pas un système cognitif indépendant, mais faisant partie d'un système plus large, incluant son environnement au niveau physique et social.

En synthèse, une bonne partie des communautés scientifiques contemporaines s'accorde à définir l'apprentissage comme un **processus cognitif permettant la modification de comportements futurs**, cependant différents axes d'études sont privilégiés selon les communautés.

- « Apprendre, c'est modifier son comportement » (définition comportementaliste) ;
- « **Apprendre c'est acquérir de nouvelles connaissances en fonction de l'expérience** ». L'apprentissage au sens large s'identifie au **développement**, c'est-à-dire à l'élaboration de nouveaux instruments de connaissance (définition constructiviste) ;
- « **Apprendre et connaître** se décrivent comme une **interaction réciproque** intentionnelle et significative entre **des sujets et des objets.** » (Linard, 2002) (définition socioconstructiviste) ;
- « **Apprendre, c'est mémoriser** » (Edelman, 1987) (Edelman, 1989) (définition cognitiviste) parlant de la mémoire comme d'un constituant des souvenirs d'une expérience passée ;
- « **Apprendre, c'est modifier durablement ses représentations et ses schèmes d'action** », (Raynal, 1997) ou « Apprendre c'est renforcer la transmission synaptique entre un grand nombre de neurones situés dans les différentes couches du néocortex », c'est-à-dire la capacité des neurones à modifier de façon durable l'efficacité de leur transmission synaptique (définition neurobiologiste).

II.3 Description de l'apprentissage

Minier (Minier, 2003) a identifié (Figure 6) différents facteurs clés, issus de l'intégralité des théories de l'apprentissage. Il est possible de séparer les facteurs internes à l'apprenant des facteurs externes.

Les facteurs internes peuvent être divisés en trois catégories distinctes :

- 1- les facteurs liés aux capacités cognitives de l'apprenant (telles que la mémorisation et les connaissances déjà acquises dans un domaine particulier) ;
- 2- les facteurs d'ordre socioaffectif (tels que l'éthique et les représentations personnelles des valeurs des autres) ;
- 3- les facteurs d'ordre conatif, c'est-à-dire les facteurs relatifs aux efforts dirigés vers un passage à l'action (que ce soit les facteurs qui facilitent la prise en charge de sa démarche cognitive ainsi que la persistance à poursuivre ladite démarche).

Les facteurs externes peuvent être quant à eux divisés en trois catégories :

1. les facteurs d'ordre social (les compétences des autres, les rôles de chacun et les relations affectives entre apprenants) ;
2. les facteurs d'ordre environnemental (le lieu de l'apprentissage et ses spécificités) ;
3. les facteurs d'ordre pédagogique (les méthodes pédagogiques et la manière dont sont agencées les activités les unes aux autres).

Nous mettons l'accent sur certains aspects qui nous semblent prioritaires pour développer des outils permettant des activités d'apprentissage :

- l'implication du contexte social, ou comment prendre en compte une activité de groupe comprenant plusieurs apprenants selon une dynamique sociale adaptée ;

- l'implication du contexte environnemental, ou comment prendre en compte les caractéristiques de l'environnement nécessaire à l'activité ludo-éducative ;
- l'implication des sujets dans la tâche ;
- l'implication des aspects psychoaffectifs.

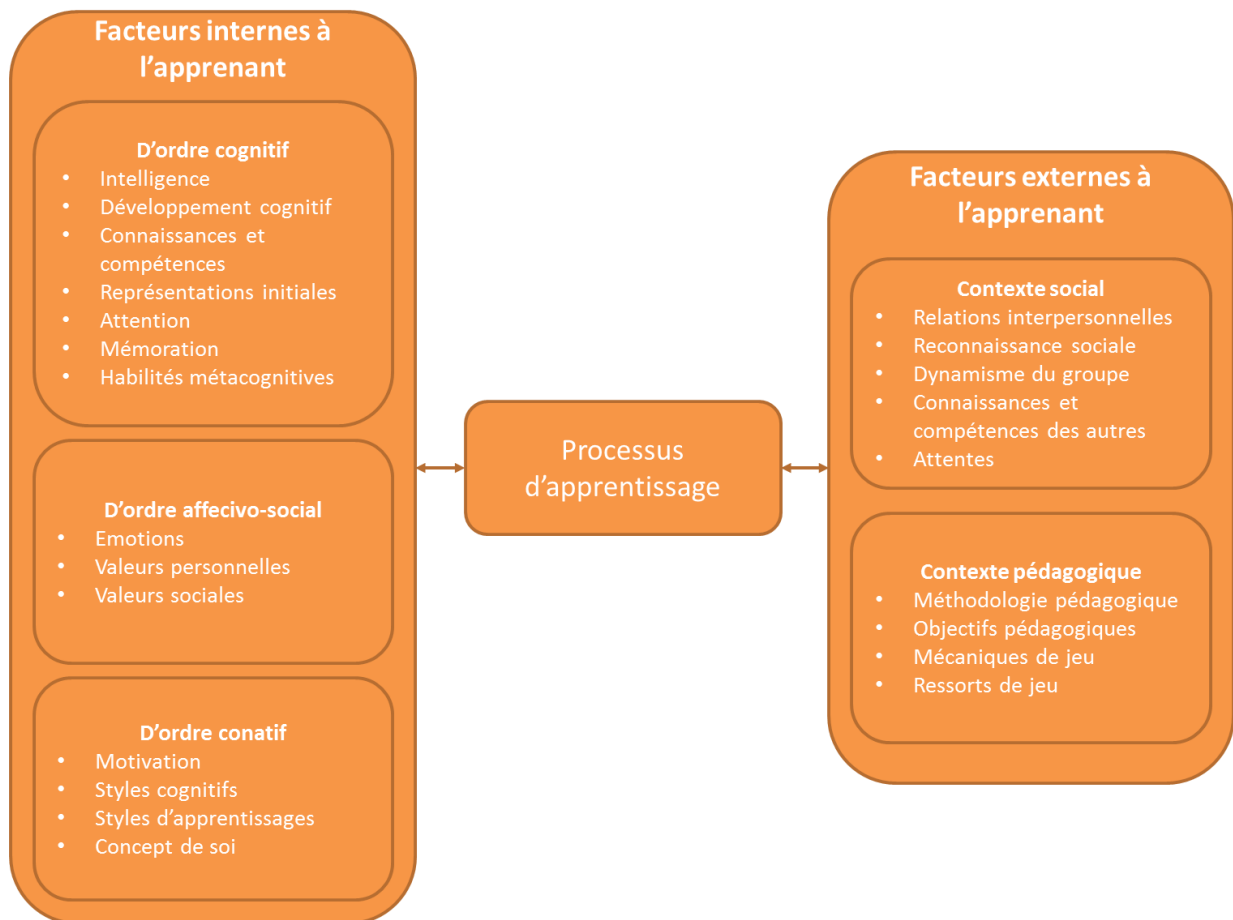


Figure 6 : Facteurs d'influence de l'apprentissage (adapté de (Minier, 2003))

II.3.1 Facteurs internes

II.3.1.1 Age et développement personnel de l'apprenant

Piaget (Piaget, 1975) considère l'apprentissage comme équivalent au développement individuel. Il distingue quatre étapes du développement d'un individu correspondantes aux développements de quatre structures cognitives primaires :

- au premier stade de la vie, qui s'étend de la naissance à environ deux ans, l'enfant est au stade « sensorimoteur ». Durant cette période, le contact qu'entretient l'enfant avec son environnement dépend entièrement des mouvements qu'il fait et des sensations qu'il éprouve. Chaque objet est brassé, lancé, mis dans la bouche pour en comprendre progressivement ses caractéristiques par essais et erreurs. Au milieu de ce stade, vers la fin de la première année, la plupart des enfants saisissent la notion de permanence de l'objet (le fait que les objets continuent d'exister quand ils sortent de leur champ de vision). Pendant ce stade, l'enfant apprend aussi à manipuler des objets et peut définir progressivement des comparaisons entre objets en fonction de leur forme et couleur ;
- au second stade, dit préopératoire, entre deux ans et sept ans, l'apprentissage du langage est primordial. L'enfant devient capable de se représenter des choses à partir de

mots ou de symboles. L'enfant saisit aussi les notions de quantité, d'espace ainsi que la distinction entre passé et futur ;

- au troisième stade dit concret, entre sept et douze ans, l'enfant devient capable d'envisager des événements qui surviennent en dehors de sa propre vie. Il commence aussi à conceptualiser et à créer des raisonnements logiques qui nécessitent cependant encore un rapport direct au concret. Un certain degré d'abstraction permet aussi d'aborder des disciplines comme les mathématiques où il devient possible pour l'enfant de résoudre des problèmes avec des nombres ;
- enfin, au quatrième stade, dit des opérations formelles, à partir de douze ans, les individus peuvent faire des raisonnements hypothético-déductifs et établir des relations abstraites (maîtrisées vers quinze ans). À la fin de ce stade, l'adolescent peut donc, comme l'adulte, utiliser une logique formelle et abstraite. Il peut aussi se mettre à réfléchir sur des probabilités et sur des questions morales comme la justice.

Ces distinctions mettent en avant différents types d'activités à proposer en fonction de l'âge des différents apprenants.

II.3.1.2 La mémorisation

La mémorisation est la faculté de stocker, conserver et rappeler des expériences, des informations ou encore des gestes perçus ou réalisés dans le passé. Ce processus a été défini comme « le processus qui transforme un événement ou un fait en une trace mnésique » (Tulving, 1983). La formation d'une trace mnésique ne requiert pas en soi d'intention de l'apprenant ou de stratégies intentionnelles, cependant, cette mémorisation n'est pas spontanée et la volonté, associée à des comportements, permet une mémorisation plus rapide.

Nous rappelons ici les modèles les plus influents qui ont été proposés pour structurer la mémoire.

■ Modèle structural de la mémoire

Le modèle le plus influent (bien qu'aujourd'hui dépassé) pour décrire la structure cognitive de la mémoire est le modèle modal, proposé par Atkinson et Shiffrin (Atkinson et al., 1968). Ce modèle divise la mémoire en trois sous-systèmes,

- la mémoire sensorielle, liée au sens, enregistre durant une période extrêmement courte, de l'ordre de 300 à 500 ms un nombre extrêmement important d'informations perçues. Sa fonction est de permettre de stimuler la vigilance et l'attention sur un phénomène donné et d'en extraire des caractéristiques ;
- la mémoire à court terme (MCT) permet la reproduction immédiate d'une information, en nombre limité (7 ± 2 items pour les chiffres), pendant un temps inférieur à 30-90 s ;
- la mémoire à long terme (MLT) permet le maintien en mémoire de l'information entre 90 secondes et plusieurs dizaines d'années. Le processus est une succession de procédures de base : encodage – stockage – rappel et permet un nombre d'informations non limité et non défini dans le temps.

Le processus de mémorisation à long terme est l'apprentissage. Cette vision de l'apprentissage est minimaliste, car elle ne met pas de lien entre le processus et l'activité réalisée et erronée, car basée uniquement sur la mémorisation d'informations (et donc non relative à la compréhension de connaissance).

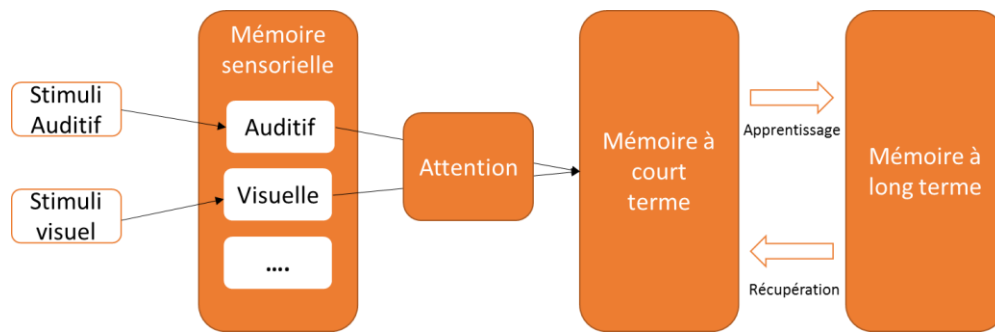


Figure 7 : Modèle structural de la mémoire (Atkinson et al., 1968)

Les théories actuelles décomposent les mémoires à court et long termes en plusieurs sous-systèmes en rapport avec leurs justifications expérimentales.

■ Modèle SPI (Serial Parralel – Independant)

D'autres modèles tels que celui de Tulving (Tulving, 1995) proposent une hiérarchie des systèmes de mémorisation. Le modèle SPI (Serial – Parallel – Independant) décompose la mémoire à court terme en deux parties (la mémoire épisodique et la mémoire de travail) et la mémoire à long terme en trois parties (mémoire sémantique, système de représentation épisodique et mémoire procédurale) (Figure 8). En voici les principaux rôles :

- La mémoire épisodique stocke les événements personnellement vécus dans le temps et l'espace de leur contexte d'encodage ;
- La mémoire de travail permet à la fois de réaliser des manipulations cognitives sur des informations maintenues temporairement et de faire transiter les informations vers un stockage dans la mémoire à long terme. ;
- La mémoire sémantique désigne le processus par lequel on se souvient des événements vécus avec leur contexte (date, lieu, état émotionnel).
- Le système de représentation perceptive est utilisé pour rendre compte des effets d'amorçage perceptif d'objets ou de mots;
- La mémoire procédurale permet l'exécution de tâche perceptivo-motrice ou cognitive à fort degré d'automatisation (changement de rapport de vitesse d'un conducteur expert est effectuée en sollicitant la zone de mémoire procédurale).

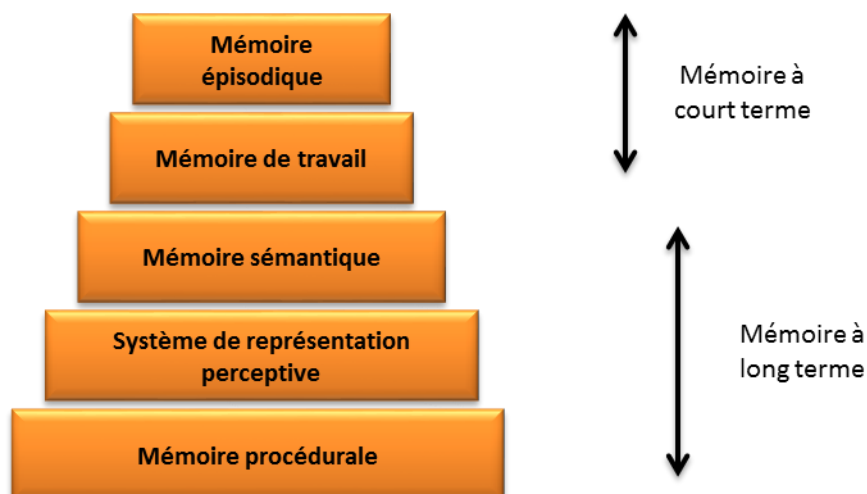


Figure 8 : Le modèle SPI et les cinq mémoires utilisées (Tulving, 1995)

Afin d'utiliser ces différentes couches de mémoire, le modèle précise que :

- L'encodage se fait de façon sérielle, dans un système après l'autre, item après item ;
- Le stockage est parallèle, un élément pouvant être stocké dans plusieurs systèmes en même temps ;
- La récupération se fait de manière indépendante, dans le système concerné.

En rapport avec les avancées en neuroscience, Baddeley (Baddeley, 2000) décomposent la mémoire de travail (MDT) en trois parties :

- la boucle phonologique pour retenir et manipuler les informations sous forme verbale ;
- le calepin visuospatial, chargé des informations sous forme visuelle ;
- l'administrateur central qui centralise, coordonne et contrôle les deux autres systèmes et les met en relation avec les informations stockées dans la mémoire à court terme.

■ Modèle MNESIS

Une théorie unifiée de la mémoire a été publiée plus récemment par Eustache (Eustache et al., 2008) avec le modèle MNESIS (Memory NEOstructural InterSystemic model) (Figure 9). Le modèle comprend cinq systèmes de mémoire, comme le modèle SPI de (Tulving, 1995), et inclut les données récentes sur la mémoire de travail de Baddeley. Ce modèle souligne le caractère dynamique et reconstitutif de la mémoire humaine et supprime l'aspect hiérarchique des différents types de mémoires utilisés par le modèle SPI.

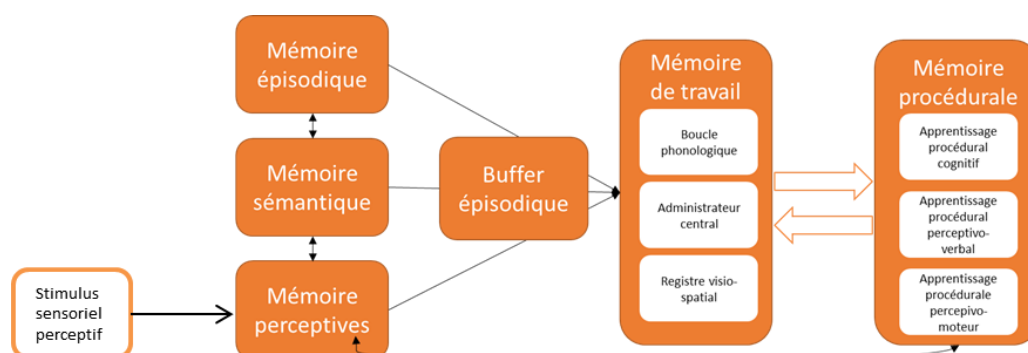


Figure 9 : Modèle unifié de la mémoire (Eustache et al., 2008)

■ Différents types de connaissances

Une des distinctions les plus classiques pour séparer les connaissances est la distinction déclarative/procédurale (Gagné, 1985). Les connaissances **déclaratives** sont les connaissances théoriques exprimées sous formes de faits, de règles, de lois, de principes, alors que les connaissances **procédurales** correspondent aux étapes d'une séquence d'actions (aussi appelées savoir-faire ou compétences).

Selon un autre point de vue, Nonaka (Nonaka et al., 1995) distinguent les connaissances **tacites** et les connaissances **explicites** : les connaissances explicites sont les connaissances transmissibles dans un langage formel alors que les connaissances tacites ont un aspect personnel qui les rend difficiles à formaliser et à communiquer. Les connaissances tacites comportent, d'une part, un volet cognitif, à savoir les connexions vers les connaissances explicites, un volet technique, à savoir le savoir-faire concret, des habiletés, concrétisées par la réalisation d'une activité.

II.3.1.3 La motivation

■ Définition

L'homme a de nombreuses envies et de nombreux besoins formulés de manière consciente. Le processus mental qui transforme ces envies et besoins en énergie est celui de la motivation. L'origine de ce terme est donné aux psychologues-économistes Dichter et Cheskin qui se disputaient sa paternité. Une définition classique de la motivation est « l'ensemble des facteurs irrationnels et inconscients des conduites humaines » (Muchielli, 2003). Cette définition peut être complétée par celle de Yurén (Yurén, 2000) comme « structure normative que le sujet a accepté intérieurement et qui guidera ses relations avec autrui et ses choix de valeurs ».

Une autre définition (Encarta) correspond à notre vision : la **motivation est l'ensemble des causes, conscientes ou inconscientes, qui sont à l'origine du comportement individuel.**

Stevens (Stevens et al., 1995) propose des caractéristiques clés de la motivation :

- s'aimer, aimer et être aimé : les besoins sont généralement au service des relations sociales et visent à améliorer les relations affectives d'un humain par rapport aux autres. Les hommes sont aussi motivés pour maintenir une certaine satisfaction d'eux-mêmes ;
- comprendre : il s'agit pour l'homme de comprendre son environnement pour le rendre plus prédictible ;
- contrôler : l'Homme est motivé par son efficacité lors de réalisation d'activités (que ce soit dans la préservation ou l'amélioration de cette efficacité) ;
- faire confiance : l'homme cherche une forme de paix, de confort et pour cela, il a besoin d'avoir confiance aux autres et à son environnement.

Un pan de la psychologie de la motivation (Deci, 1975) (Ryan et al., 2000) discrimine deux types de motivations, appelées motivations « **intrinsèques** » et « **extrinsèques** ». La différence fondamentale entre ces deux types de motivations est liée **aux conséquences de l'activité**. Dans le cas d'une motivation intrinsèque, la conséquence est interne à l'activité, alors que dans le cas de la motivation extrinsèque, la conséquence est extérieure à l'activité. Par exemple, gagner l'approbation d'autrui est une motivation extrinsèque, alors que vouloir gagner est une motivation intrinsèque. La motivation intrinsèque permet l'accomplissement en vertu de l'intérêt et du plaisir de l'apprenant dans son activité.

■ Engagement des apprenants

L'affectivité est définie comme l'« **ensemble des affects, émotions et sentiments éprouvés par l'individu dans des situations variées** » (Thomas et al., 1987) et renvoie « à l'impact et au retentissement émotionnel provoqués chez le sujet par les relations qu'il entretient avec lui-même, autrui et le milieu ».

Il s'agit de réactions subjectives, ressenties par l'individu, et constitutives du sentiment d'exister. Ces sentiments sont plus ou moins durables (les sentiments plus que les émotions), plus ou moins visibles (traduits en comportements perceptibles). Classiquement, la motricité, la cognition et l'affectivité sont opposées, mais cette vision est aujourd'hui dépassée : d'une part parce que les manifestations affectives dépourvues de contenu cognitif sont rares chez l'homme, d'autre part parce que les structures sémantiques (perceptions, images, souvenirs) jouent généralement un rôle décisif dans les différents états affectifs. La joie, la tristesse, la peur, la surprise, la fierté, la honte, l'admiration, l'amour, l'animosité sont autant d'états affectifs qui interviennent dans le processus d'apprentissage en rapport avec les relations de l'apprenant vis-à-vis de l'environnement physique et social.

■ Concentration et charge cognitive dédiée

Csikszentmihalyi (Csikszentmihalyi, 1990) s'intéresse aux passionnés et aux raisons pour lesquelles ils peuvent passer autant de temps et d'énergie à leurs passe-temps. Pour cela, il a questionné alpinistes, joueurs d'échecs et artistes pour comprendre la raison de leur choix. Les résultats ont été en faveur d'une qualité d'expérience supérieure qui les pousse à vouloir revivre cette expérience. Cet état de conscience est appelé le « **flow** » et correspond à **une expérience où l'acteur est dans un état dans lequel il lui semble plus facile de tout faire, et un état de conscience plus important**. Dans cet état, les sentiments de joie, d'accomplissement, de reconnaissance de ses propres compétences sont importants. L'individu ressent la capacité de pouvoir réaliser ce qu'il doit faire. Parmi les neuf éléments prérequis et constitutifs de cet état de « flow » (Csikszentmihalyi, 1990), nous avons sélectionné ceux qui semblent être plus pertinents à notre contexte :

- avoir des buts identifiés clairement, avec décomposition des buts ;
- un retour rapide sur l'action effectuée ;
- des tâches à effectuer ni trop faciles, ni trop difficiles ;

Le flow peut être caractérisé par trois comportements significatifs :

- l'attention est entièrement focalisée sur la tâche à réaliser ;
- les événements extérieurs à la tâche sont exclus de la conscience ;
- la tâche procure du plaisir (activité autotélique).

Pour adapter la théorie du flow à l'apprentissage, Rieber (Rieber, 1996) met l'accent sur l'optimisation du niveau de difficulté de l'activité. **Un des enjeux de la conception d'un jeu réside dans l'équilibre du niveau requis pour du jeu**. Les joueurs qui ont le sentiment que les tâches à accomplir sont trop simples vont rapidement se désintéresser de l'activité et ceux qui ont l'impression que les tâches sont trop difficiles vont devenir anxieux et frustrés, diminuant à force la motivation pour compléter les tâches en cours.

II.3.2 Facteurs interactionnels

II.3.2.1 Interactions sociales

■ Différents transferts de savoirs

Le transfert de compétences se fait classiquement par un professeur qui transmet son savoir à l'ensemble de la classe (transfert de l'individuel au collectif). Cependant, d'autres types de transferts peuvent être réalisés pour permettre un transfert de connaissance entre les différents individus.

En ingénierie des connaissances, Nonaka (Nonaka et al., 1995) propose une taxonomie des types de transferts de connaissance selon le type de connaissance (tacite ou explicite) et selon l'implication du collectif dans le transfert. Cette classification a été enrichie (Lenhardt, 2002) afin d'explicitier l'ensemble des possibilités (Figure 10) pour le transfert des connaissances. Les différents transferts de connaissances proposés sont :

- théorisation collective : les processus et des concepts sont proposés par le collectif sous forme d'apports théoriques ;
- explicitation du vécu : un des intervenants propose aux autres un ensemble de faits ;
- intériorisation des apports théoriques : la métabolisation de la connaissance (selon le

processus d'énaction) mature la connaissance (Varela et al., 1992) ;

- formalisation du vécu individuel, pour mettre un mot sur une pensée, pour mieux la comprendre, réaliser une réflexion ou préparer une future communication ;
- introjection par le groupe, inconsciente par le groupe des comportements, attitudes et compétences implicites modélisés par les individus constituant ce groupe ;
- intégration implicite et collective des nouveaux comportements, connaissances et attitudes vécus et expérimentés collectivement ;
- intégration individuelle de la culture partagée, capacité à rendre compte de la culture partagée ;
- extériorisation : capacité de rendre compte collectivement d'une enveloppe culturelle et morale, partagée par tous.

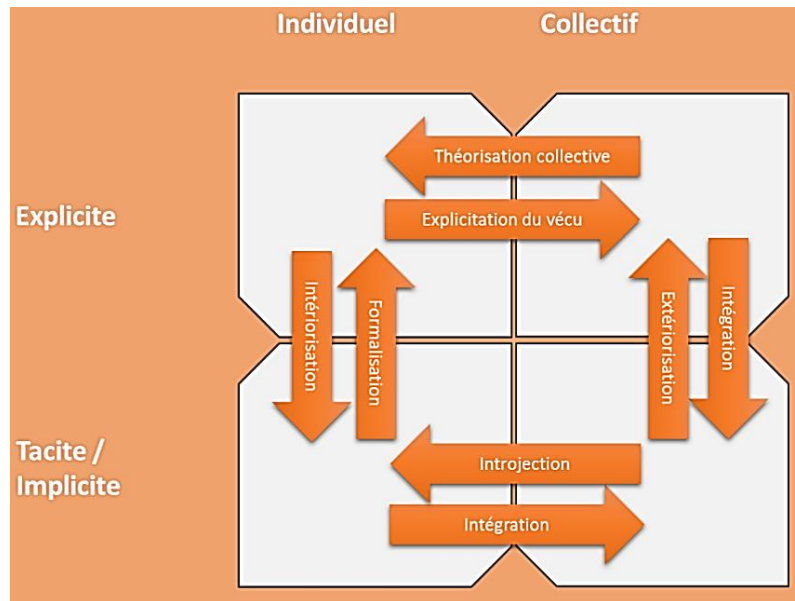


Figure 10 : Transfert des connaissances entre individu et groupe (Lenhardt, 2002)

La théorisation collective, l'explicitation du vécu, la formalisation et l'intériorisation sont particulièrement importantes dans le concept d'apprentissage et un assemblage de ces quatre semble encore plus pertinent.

■ Réaliser personnellement des activités dans un groupe

Vygotsky (Vygotsky, 1978) considère l'importance de l'environnement social dans les processus cognitifs de l'apprentissage. Il propose de positionner les enfants autour d'autres plus expérimentés, de parents ou d'enseignants. Cet entourage particulier appelé « zone proximale de développement » peut augmenter la rapidité de l'apprentissage. Son potentiel d'utilité est déterminable par les besoins de collaborations pour réaliser les activités demandées. Pour Vygotsky, « la vraie direction du développement ne va pas de l'individuel au social, mais du social à l'individuel » (Vygotsky, 1934). Une nouvelle connaissance peut être soit subjective (propre à un individu), soit objective (commune à un groupe). Le mouvement de connaissance peut, entre autres, passer du « subjectif » (où un individu propose son idée) à de l'« objectif » (lorsque l'idée est acceptée par le groupe). Après maturation de la connaissance par chacun des individus du groupe, une nouvelle idée, se basant ou non sur l'ancienne proposée peut ensuite être émise par un autre.

■ Collaboration, coopération et compétition

□ Distinction entre coopération et collaboration

Pour l'apprentissage, les interactions sociales sont décomposées entre celles qui portent sur des échanges **unilatéraux** (lorsqu'un professeur donne un cours) ou **symétriques** (un débat entre élèves).

Les relations symétriques sont actuellement plus à l'étude dues aux limites constatées des échanges unilatéraux des pédagogies transitives. À l'école ou à l'université, les instituteurs et les professeurs disposent de groupe d'élèves de taille variable et peuvent utiliser ce contexte collectif. Dans ce type de rapport, les relations sont inversées, les élèves sont acteurs et le professeur est dans un rôle beaucoup plus passif, où il prodigue son enseignement au moment où les élèves formulent un besoin de connaissances.

Les travaux théoriques font référence pour la plupart à « l'apprentissage coopératif » et « l'apprentissage collaboratif » (Dillenbourg, 1999) :

- dans une activité **coopérative**, les **rôles sont distribués** à chacun des apprenants menant une activité permettant d'arriver à un objectif commun ;
- dans une activité **collaborative**, la **distribution n'est pas prescrite**, l'organisation sociale se fait de manière spontanée.

Une des définitions les plus populaires de l'apprentissage collaboratif exprime une situation où plusieurs personnes apprennent ou essaient d'apprendre ensemble. Dans (Smith et al., 1992), l'apprentissage collaboratif est décrit comme une variété d'approches pédagogiques impliquant un effort intellectuel conjoint des apprenants ou des apprenants et de tuteur(s).

L'utilisation d'activités collaboratives est particulièrement efficace pour permettre une confrontation des idées des apprenants et ainsi permettre une remise en question de nos propres représentations, ce qui conduit l'apprenant à réorganiser ses conceptions antérieures et à intégrer de nouveaux éléments apportés par la situation. La modification de nos propres représentations est basée principalement sur deux déséquilibres dans les représentations :

- un déséquilibre interpersonnel, lorsque l'on est confronté à un avis différent ;
- un déséquilibre intrapersonnel, lorsque l'on cherche à remettre en cause ses propres représentations.

Ce concept est appelé « conflit sociocognitif » par les membres de la communauté. La résolution collaborative de problèmes implique une décentration (mécanisme de prise de recul permettant une certaine objectivité) et une reconsidération de son propre point de vue grâce à des phénomènes d'argumentation et de communication entre apprenants et pour permettre un progrès cognitif (Doise et al., 1981) (Perret-Clermont, 1979).

Quatre situations didactiques sont source de conflits sociocognitifs (Johsua et al., 1993) :

1. échec dans le choix de la stratégie de situation de problème. La situation amène à un changement de structure du groupe. L'équipe est amenée à reconsidérer la situation et à élaborer d'autres démarches pour pallier les limites identifiées ;
2. point de vue trop éloigné entre les membres d'un même groupe, après une plus ou moins grande négociation, certains des membres peuvent alors modifier leurs propres représentations afin d'être plus proches ou plus éloignés des points de vue exprimés par un tiers ;
3. adoption par le groupe d'une stratégie en contradiction avec celle que possédait

l'apprenant : le conflit est alors lié à une situation de marquage social, où l'individu remet en cause sa propre identité en constatant la différence de point de vue ;

4. Imitation d'une stratégie élaborée par une des autres équipes. Le décodage de la verbalisation d'une stratégie effectuée par d'autres amène à la critique et à l'analyse des bénéfices de l'adoption de cette même technique.

□ Apports de ces configurations sociales

Ainsi, que ce soit des activités collaboratives ou coopératives, de nombreuses études ont montré leurs avantages, principalement pour la résolution de problèmes ou la réalisation de tâches distribuées avec discussion et une prise de décision en groupe. Il a par exemple été observé que des étudiants ayant eu ce type d'enseignement atteignent des relations sociales plus stables et sont plus autonomes que ceux ayant participé aux activités classiques (Johnson et al., 1994) (Leikin et al., 1997).

Différentes études (Pallof et al., 2001) montrent l'influence du travail en groupe dans la résolution de problème et l'apprentissage sous-jacent. L'apport est présent sauf dans les cas où la différence de niveau entre les personnes est trop importante et l'équilibrage du travail à effectuer trop important. La motivation, pendant une collaboration est dépendante de la motivation des autres, alors que pendant une coopération beaucoup moins.

Crook (Crook, 1998) élabore plusieurs propositions qui favorisent la collaboration :

- avoir un espace privé ;
- un espace de ressources externes ;
- un espace commun où les participants peuvent interagir.

Selon un autre point de vue, Engeström (Engeström, 1999) propose trois niveaux d'interactions sociales dans une situation collaborative : la coordination, la coopération et la communication reflétée. La coordination correspond aux actions et rôles des participants, la coopération correspond aux interactions sociales pour conceptualiser un modèle de connaissances lié à un problème donné. La communication reflétée est une étape où chacun des participants réfléchit sur ses propres actions et leurs implications par rapport à la situation originale.

Smith (Smith et al., 1992) déduit de ces études sur l'apprentissage collaboratif les résultats suivants :

- l'apprentissage est un processus actif et constructif. Dans l'apprentissage, les apprenants essaient de créer de nouvelles idées et informations avec ce qu'ils ont appris ;
- l'apprentissage dépend de contextes riches. Plutôt que commencer avec des faits et des idées et puis se tourner vers des applications, l'apprentissage collaboratif commence souvent par des problèmes, pour lesquels les apprenants doivent chercher des faits et des idées ;
- les apprenants sont variés. Les apprenants dans l'apprentissage collaboratif peuvent avoir des rôles et des niveaux de connaissances différents ;
- l'apprentissage est motivé socialement et l'apprentissage collaboratif est intrinsèquement social. L'apprentissage collaboratif permet aux apprenants de confronter leurs idées sur un problème.

Le développement des compétences interpersonnelles est également important dans l'apprentissage collaboratif (Dillenbourg, 1999). Beaucoup d'activités d'apprentissage sont conçues avec des objectifs pédagogiques et des objectifs de compétences sociales (certains

iraient même jusqu'à dire que l'apprentissage dans le secondaire est principalement un apprentissage social).

□ Intégrer la compétition dans le processus d'apprentissage

La compétition se base sur une décomposition des apprenants en plusieurs groupes et à une réalisation d'activités en concurrence selon deux différents principes. Soit la réussite d'un groupe entrave la réussite des autres groupes, soit il y a une comparaison, à la fin de l'activité entre les performances effectuées dans les deux groupes. La compétition stimule l'activité et renforce l'utilité de cette dernière. Les apprenants peuvent pour certains se surpasser, pour flatter leur égo, mais la compétition produit aussi des effets néfastes comme la rivalité et l'agressivité. La compétition facilite l'opposition entre ceux qui réussissent et ceux qui ne réussissent pas, ce qui fait évoluer la représentation de son propre niveau et par conséquent influe directement sur la confiance.

Pour certains psychologues, la motivation est interne à l'activité et on parle alors de « dépassement de soi » mais pour d'autres la compétition puise sa force dans l'égo et à l'estime de soi. Ces avis différents ne nous permettent pas de trancher sur le choix d'utiliser ou non de la compétition dans des jeux. En tout cas, pour prévenir certains risques présentés ici, nous préférons une vision collective de la compétition, reconnue pour permettre un sentiment d'appartenance à un groupe.

II.3.2.2 Interactions environnementales

Bloom (Bloom et al., 1956) propose d'organiser les stades d'acquisition de la connaissance de façon hiérarchique :

- l'apprenant prend conscience de l'**existence** des objets, idées, principes ou phénomènes, de leurs terminologies et de leur fonctionnement. L'apprenant peut retransmettre l'information, **connaissance** ou procédure ;
- l'apprenant est ensuite en mesure **d'interpréter** ou d'extrapoler le sens du message. L'interprétation met en jeu la remise en ordre d'idées (inférences, généralisations ou résumés) et l'extrapolation des estimations ou des prédictions ;
- l'apprenant abstrait ensuite les théories, idées, principes et méthodes et ainsi peut **utiliser** ces connaissances dans une situation nouvelle.

L'analyse, la synthèse et l'évaluation sont des processus cognitifs de plus haut niveau :

- l'**analyse** est la capacité à reconnaître les sous-entendus, à distinguer les faits des hypothèses, et à discriminer les conclusions des arguments, à reconnaître les hypothèses des faits, de reconnaître les erreurs de logique ;
- la **synthèse** est une formulation des connaissances ;
- l'**évaluation** est le jugement de valeurs et d'opinions sur les idées, solutions et méthodes.

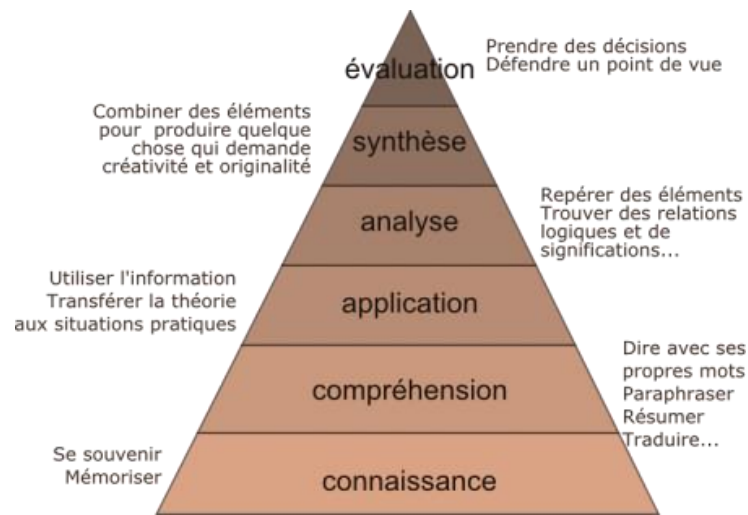


Figure 11 : Différents stades d'apprentissage de connaissances (Bloom et al., 1956)

Proposer un enseignement dans un cours magistral (où la relation est unilatérale) est insuffisant pour permettre un bon niveau de compréhension pour tous. Pour améliorer le niveau de compréhension, une des solutions se base sur l'utilisation de situations où les apprenants manipulent le sujet pour augmenter compréhension par des apprenants de l'utilité de l'apprentissage.

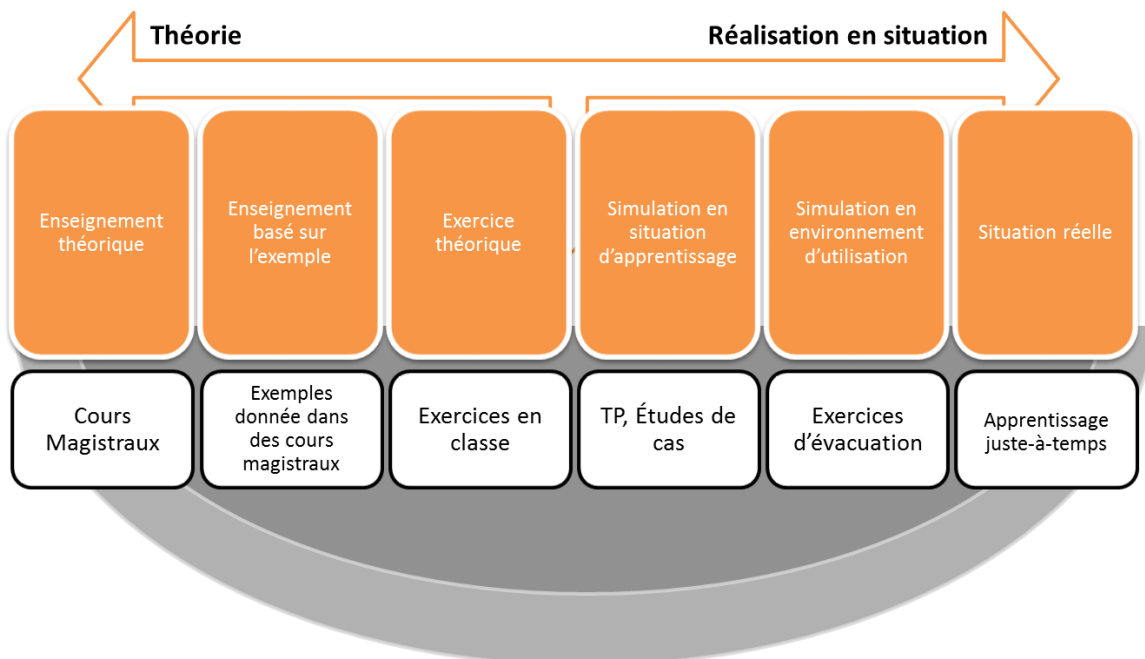


Figure 12 : Activités réalisées pendant l'apprentissage - adapté de (Goupil et al., 1993)

Les différentes activités et différents lieux utilisés pour former des apprenants ont été recensés par Goupil (Goupil et al., 1993) et sont représentés dans la Figure 12. Dans leurs travaux, ils discriminent différents types de pédagogies employées selon l'étape d'apprentissage de la connaissance visée :

- l'apprentissage se fait **magistralement** en cours pour proposer une **connaissance théorique** ;

- l'utilisation de **métaphores** et **d'exemples** d'étude est proposée pour concrétiser ces concepts dans des **cas d'étude théoriques** ;
- des **exercices théoriques** sont ensuite proposés à l'élève afin de réaliser une activité autour d'un problème connexe aux connaissances théoriques ;
- des cas d'étude sont ensuite réalisés en salle d'expérimentation pour concrétiser physiquement ces exercices dans un **contexte plus authentique** ;
- des activités simulées dans une situation proche des situations réelles sont proposées dans des **exercices de simulation** ;
- **l'apprentissage juste à temps**, quand le professionnel requiert d'accéder à des informations extérieures (venant de tiers, manuels ou alors d'environnements numériques).

Ainsi la relation entre le niveau d'apprentissage d'une connaissance, la criticité de l'apprentissage de cette connaissance et les activités d'apprentissages sous-jacentes impose de différencier les situations. Dans le cas où l'apprentissage est critique, les méthodes complexes et/ou difficiles à retenir, les solutions pédagogiques sont de placer l'apprenant dans un contexte proche de celui d'utilisation des connaissances.

Ce constat a fait naître les notions de pédagogie dite active (en science de l'éducation), d'apprentissage par l'expérience (ou par essai-erreur) (en psychologie) et d'apprentissage par l'action (dans l'industrie).

■ Pédagogie active

Intégrer l'action de l'apprenant dans le processus d'apprentissage est connu des pédagogues comme de la « pédagogie active » (ou d'« école nouvelle ») (Ferrière, 1922). Cela désigne **tout enseignement où les actions de l'apprenant sont au cœur du processus d'apprentissage**. Ce courant est à la fois ancien (on peut par exemple citer Rousseau et Séguin comme pédagogues cherchant à la mise en place de l'école nouvelle) et à la fois actuel. Le pédagogue Ferrière (Ferrière, 1922) propose une nouvelle forme d'école où l'apprenant a un rôle important dans son processus d'apprentissage, avec **une expérimentation forte à la place d'une réception des explications dans une démonstration**. Il est donc question d'étudier par l'expérience (et ainsi avoir une base plus concrète) avant de passer à l'étude des règles et des lois (basée sur une connaissance abstraite). La pédagogie Montessori (Montessori, 1957) oriente aussi la pédagogie vers une pédagogie active avec pour but de favoriser l'observation de l'enfant, son autonomie et sa prise de décision.

■ Apprentissage par l'action

L'apprentissage par l'action est lié au développement de compétences utiles pour les ouvriers (producteurs) pour diminuer le coût unitaire de production (par une hausse de la production) (Wright, 1936).

Les expressions « apprentissage par l'action » (Arrow, 1962) et « apprentissage par l'utilisation » (Rosenberg, 1982) sont relatives à l'apprentissage d'une compétence dans le cadre d'une activité/utilisation d'un produit. Lors de la manipulation d'équipements en entreprise, le fait de proposer au bon moment et sans effort des informations sur la procédure à suivre et la manière dont l'on manipule les outils présents permet à la fois de faciliter leur activité et dans certains cas de mémoriser les informations reçues.

D'après Habermeier (Habermeier, 1990) l'action est nécessaire pour l'apprentissage de l'utilisation de machines parce que les interactions entre produits et environnement d'utilisation sont complexes à prédire. von Hippel (von Hippel et al., 1996) montre que l'apprentissage par

l'action permet la découverte et l'identification de problèmes, parce qu'avant l'action ou l'utilisation, les problèmes existants sont difficiles à identifier en raison de leur complexité, et parce que de nouveaux problèmes peuvent émerger pendant l'action ou l'utilisation.

■ Apprentissage par l'expérience

L'appellation utilisée en psychologie expérimentale est l'apprentissage par l'expérience (Experience based Learning) (Kolb, 1984). Selon cette vue, l'expérience est au centre des considérations d'apprentissage et d'enseignement. Cette expérience comprend l'ensemble des différents événements de la vie incluant les activités d'apprentissage, mais pas seulement. L'expérience a une conséquence sur les sens et les sentiments tels que l'intellect, l'affect, la cognition et la conation (le fait de passer à l'action). Les apprenants ont une réflexion, une évaluation et une potentielle reconstruction de la connaissance pour trouver un sens à la connaissance dans le contexte de l'expérience (Figure 13). Cette analyse itérative est déterminante dans les actions futures.

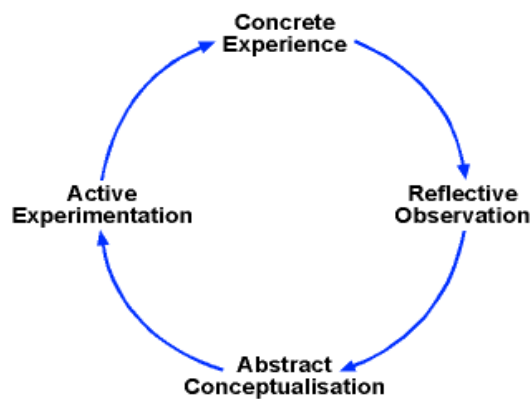


Figure 13 : Modèle en quatre étapes proposé par (Kolb, 1984)

D'après Kolb, il est préférable d'apprendre selon un cycle de quatre phases :

- une phase d'expérience concrète d'actions ;
- une phase d'observation réfléchie et attentive ;
- une phase de conceptualisation abstraite et théorique ;
- une phase de mise en application en fonction de l'expérience initiale.

Le cycle peut commencer à n'importe quelle phase, dans le cas d'un apprentissage scolaire, le cycle commence par l'apprentissage théorique, et dans le cas d'un problème de la vie courante, le cycle commence par une expérience concrète.

Certains principes sont conseillés pour faciliter l'apprentissage :

- implication intégrale des apprenants dans l'activité d'apprentissage ;
- reconnaissance et utilisation active des expériences en relation avec des connaissances/compétences/souvenirs appris et en adéquation avec les valeurs et la compréhension du monde ;
- réflexion sur les expériences passées à ajouter aux connaissances intégrées. Ce processus peut durer aussi longtemps que l'apprenant a accès à sa mémoire. La qualité de la réflexivité des pensées d'un apprenant est significative pour les résultats de ce même apprentissage ;
- un bon apprentissage est fait dans un contexte signifiant et approprié ;
- l'apprentissage passe par un engagement observable des apprenants ;

- le débriefing et la pensée réflexive sont des composantes essentielles de l'apprentissage (l'activité n'a pas besoin d'être liée à l'apprentissage, mais plutôt à l'expérience).

Il est important de souligner que l'apprentissage basé sur l'expérience ne se limite pas à une méthode, une technique ou une approche particulière d'apprentissage, car il n'existe pas un processus unique pour cadrer le processus d'apprentissage.

■ Apprentissage situé

L'apprentissage situé (Situated Learning) a été proposé par Lave (Lave et al., 1991) comme un modèle d'apprentissage qui permet à chacun d'apprendre par rapport à sa perception de l'environnement et des autres humains en présence. Le processus d'apprentissage démarre par une résolution de problème. Pour le résoudre, les apprenants explorent les situations qu'ils ont déjà vécues pour trouver la solution la plus adaptée. Lorsque les apprenants sont dans des situations réelles, ceux-ci sont contraints d'apprendre pour résoudre leurs problèmes.

Jermann (Jermann et al., 2004) souligne qu'un bon environnement d'apprentissage est un environnement qui permet à l'apprenant d'avoir accès à une communauté d'experts et l'acquisition d'une compétence s'effectue dans la situation où celle-ci est utilisée. Ainsi les compétences acquises par les apprenants englobent non seulement les savoirs et savoir-faire acquis, mais aussi les démarches de production et de mobilisation de ces savoirs en interaction avec les aspects matériels et socioculturels de la situation. L'apprentissage s'inscrit dans un contexte et cela permet à l'apprenant de lui donner un sens.

L'apprentissage situé se caractérise par neuf éléments (Herrington et al., 2000) :

1. un apprentissage en contexte authentique ;
2. avec des activités authentiques ;
3. avec accès aux compétences des experts et à une modélisation des processus ;
4. avec des rôles et perspectives multiples ;
5. avec une construction collaborative des connaissances ;
6. avec une réflexion favorisant l'abstraction ;
7. avec une explicitation des connaissances tacites ;
8. avec un programme d'accompagnement et d'échauffement ;
9. avec intégration de l'évaluation dans l'activité d'apprentissage.

□ Différentes distances et configurations spatiales pour réaliser une activité

La psychologie environnementale « considère la relation à l'espace et au vivant qui nous entoure comme un système d'interdépendances complexes dans lequel le rôle et la valeur de ceux-ci sont déterminés par la perception et l'évaluation subjective » (Ittelson et al., 1974). Quatre niveaux de considérations sont généralement distingués (Hall, 1966) :

- le microenvironnement : espace privatif (logement, poste de travail) de l'individu ;
- le méso-environnement : espace de proximité avec ses proches ;
- le macro-environnement : espace de l'individu dans sa relation à la collectivité ;
- l'environnement global concerne tous les environnements.

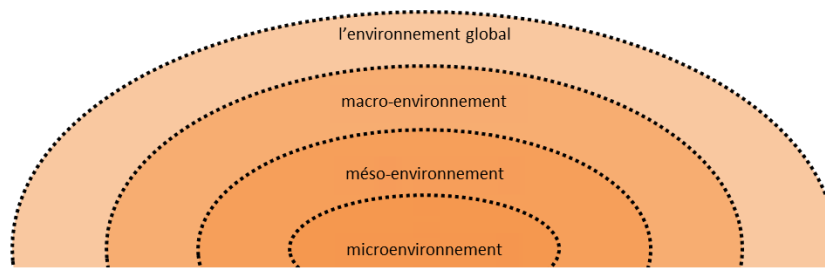


Figure 14 : Les différents types d'environnements

Pour les relations sociales faites dans les micro- et meso- environnements, Sommer (Sommer, 1965) précise que des configurations spatiales sont plus intéressantes que d'autres dans une activité spécifique. Hall (Hall, 1966) propose quant à lui différentes configurations spatiales à utiliser par des utilisateurs d'un environnement pour une activité donnée.

□ **Utilisation des connaissances dans leur contexte d'utilisation**

L'apprentissage n'est pas séparable de l'activité d'utilisation de ces connaissances (Brown et al., 1989). Les situations peuvent être décrites comme coproductrice d'une connaissance dans l'activité. Ainsi, l'apprentissage décontextualisé ne peut pas être aussi efficace que celui fait dans un environnement signifiant.

Herrington (Herrington et al., 2000) rapproche la notion d'apprentissage situé avec celle d'authenticité de l'apprentissage, que ce soit au niveau du contexte environnemental, social (avec un accès à la connaissance des experts présents, un rôle et des perspectives pour chaque apprenant) ou au niveau même de l'activité (et son évaluation intégrée dans l'activité d'apprentissage).

Perkins (Perkins, 1993) propose de considérer différents phénomènes impliquant l'individu et son environnement :

- l'environnement physique et social participe à la cognition en tant qu'outil de transport de la pensée en plus d'être source d'information et/ou support de présentation de l'information ;
- la modification de l'environnement constitue une base d'expérimentation par sa comparaison avec les prédictions basées sur les connaissances théoriques.

Concernant cette deuxième catégorie, Giere (Giere, 1991) propose d'utiliser la résolution de problème en situation réelle pour permettre une concordance entre états du monde, les faits observés, les théories connues sur les phénomènes observés et les prédictions déduites à partir des théories apprises (Figure 15).

L'état du monde permet d'un côté d'extraire des faits à partir d'observation et d'expérimentation et de l'autre côté de confronter ce monde à l'ensemble des théories connues par l'observateur sur les phénomènes en présence. Les connaissances théoriques, mêlées à l'état du monde permettent de déduire certains comportements futurs du système, qui peuvent être mis en confrontation avec les informations récupérées par observation/expérimentation.

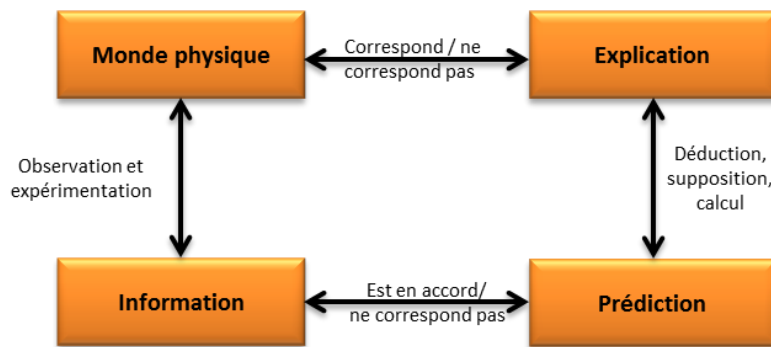


Figure 15 : Prise en compte de théories scientifiques dans un environnement réel

□ Réaliser une activité dans son contexte authentique

Les connaissances seules ne sont pas suffisantes pour réaliser une activité. L'utilisation de compétences, forme de méta-connaissance pour choisir et fédérer l'ensemble des connaissances permet à la fois la prise de décision et la réalisation d'une action.

De nombreuses définitions en termes de « compétence » existent :

- « La compétence est la capacité de sélectionner et de fédérer en un tout applicable à une situation, des savoirs, des habiletés et des attitudes » (Toupin, 1995) ;
- « La compétence correspond à la mobilisation dans l'action d'un certain nombre de savoirs combinés de façon spécifique en fonction du cadre de perception que se construit l'acteur (individu ou collectif) de la situation » (Wittorski, 1997).

Vadcard (Vadcard et al., 2004) propose d'ajouter les capacités perceptivo-gestuelles comme connaissances (schémas d'actions regroupant les contrôles de l'action, les heuristiques et la prise de décision, et d'un point de vue pratique). La mémoire procédurale est dans ce contexte associée à la réalisation de gestes, que ce soit au niveau de nos capacités motrices ou au niveau des savoir-faire. La mémoire procédurale permet d'accéder à une séquence d'action pour rendre sa réalisation plus efficace. La répétition et la signification des gestes sont d'une importance capitale pour l'apprentissage puis la réalisation de gestes précis.

II.4 Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre, nous avons identifié différentes tendances de recherches issues des domaines de la psychologie et des sciences de l'éducation.

Nous avons examiné également différents niveaux de descriptions de l'apprentissage :

- aux niveaux neuronal et cognitif afin de préciser les caractéristiques de l'apprenant dans son processus d'acquisition de la connaissance ;
- au niveau pédagogique pour connaître l'éventail des activités pour favoriser l'apprentissage ;
- aux niveaux sociaux et environnementaux pour proposer une situation adéquate pour l'apprentissage desdites connaissances.

Ces différentes perspectives nous permettent de sélectionner les caractéristiques déterminantes pour les environnements sur lesquels nous travaillons. Ainsi, nous visons un système permettant :

- une activité motivante pour rendre l'apprenant engagé dans son apprentissage ;

- un contexte social stimulant pour réaliser l'activité permettant à la fois de construire des connaissances, favoriser les relations sociales et de stimuler les apprenants ;
- un contexte environnemental signifiant, avec une volonté de rapprocher l'activité d'apprentissage avec celle d'utilisation de ses compétences en situation authentique.

Nos outils pédagogiques ont pour but de permettre la réalisation :

- **d'activités dans d'un contexte (environnement) authentique ;**
- **d'activités ludiques favorisant la motivation ;**
- **d'activités proches de l'activité authentique ;**
- **d'activités collaboratives mettant en jeu des rôles et favorisant différentes configurations sociales ;**
- **d'activités réalisées selon un processus modélisé ;**
- **d'activités utilisant l'engagement des apprenants.**

Pour prendre en compte ces besoins pédagogiques, nous présentons les différentes recherches menées en informatique pour permettre l'outillage d'activités : d'abord les environnements qui permettent la réalisation d'activités dans un contexte situé (Chapitre III) puis les environnements qui permettent la réalisation d'activités collectives motivantes (Chapitre V).

PARTIE I : REALITE MIXTE ET CONCEPTION DE PROTOTYPE INTERACTIF

Dans cette première partie nous présentons une étude exploratoire et structurante portant sur les environnements mixtes et ubiquitaires. Nous nous intéressons aux cadres conceptuels les plus influents dans le domaine des interactions hommes-machines.

L'objectif du chapitre III est de mettre en évidence les travaux sur lesquels s'appuie notre recherche et qui alimentent notre réflexion. Le chapitre IV est quant à lui dédié à la présentation de la conception de tables interactives, nommés pupitres, de par leur largeur et leur profondeur, plus petites que la moyenne, et leur hauteur, plus grande que la moyenne. Ces dispositifs, en plus de pouvoir détecter doigts et objets portés à leurs surfaces peuvent être assemblés afin de proposer différentes configurations spatiales. Ces pupitres sont supportés par une solution logicielle unifiant les caractéristiques issues de nombreux autres dispositifs (en particulier de dispositifs mobiles).

Chapitre III : État de l'art sur les activités en environnements mixtes et ubiquitaires

III.1	INTRODUCTION	38
III.1.1	<i>Réalité ? Virtualité ?</i>	38
III.1.2	<i>Évolution des tendances scientifiques</i>	39
III.1.3	<i>Structuration de la problématique RM</i>	48
III.2	LES DIFFÉRENTS TYPES DE DISPOSITIFS TECHNOLOGIQUES	49
III.2.1	<i>Dispositifs de sortie</i>	50
III.2.2	<i>Dispositifs d'entrée</i>	52
III.2.3	<i>Exemples de prototypes</i>	58
III.2.4	<i>Solutions logicielles de détection et suivi d'objet</i>	61
III.3	APPORTS DE L'UTILISATION DES ENVIRONNEMENTS DE RÉALITÉ MIXTE	63
III.3.1	<i>Amélioration de l'environnement d'apprentissage</i>	63
III.3.2	<i>Apports pédagogiques</i>	65
III.3.3	<i>Apports motivationnels</i>	66
III.4	EXEMPLES D'ENVIRONNEMENTS MIXTES	67
III.4.1	<i>Bureautique</i>	67
III.4.2	<i>Livre</i>	70
III.4.3	<i>Conception</i>	71
III.4.4	<i>Transport</i>	73
III.4.5	<i>Santé</i>	75
III.4.6	<i>Jeu</i>	76
III.4.7	<i>Enseignement et Apprentissage contextuels</i>	78
III.4.8	<i>Jeu pédagogique</i>	82
III.5	SYNTHÈSE	84
III.6	CONCLUSION DU CHAPITRE	87

III.1 Introduction

L'introduction de technologies informatiques a fait radicalement évoluer les activités et capacités de l'homme. L'utilisation de l'informatique a entre autres permis :

- de traiter de l'information par des algorithmes et ainsi automatiser certaines tâches ;
- de stocker de l'information sous différentes formes numériques ;
- de diffuser des informations à travers le monde ;
- de réaliser et expérimenter des simulations, environnements virtuels factices.

Le traitement automatisé de l'information est réalisé par programmation et permet de faire réaliser des tâches automatisées par une machine, permettant suppléance (ou du moins d'accompagnement) de l'homme.

La possibilité d'accéder à une information externalisée permet de proposer à l'homme des informations pour, par exemple, pallier un manque d'information dans une prise de décision. Ces informations ont d'abord été présentées sur le lieu de l'activité, sur du papier, puis son externalisation sous forme numérique est arrivée au point où son accès est aujourd'hui possible partout.

L'utilisation des technologies de télécommunication permet d'avoir une base de connaissances stockée à tout endroit du globe ayant une capacité plus importante que n'importe quelle bibliothèque ne pourrait jamais avoir. L'accès immédiat à cette base d'information modifie les besoins d'apprentissage de l'homme. En effet, le fait d'avoir accès à l'information à tout moment rend leurs besoins d'apprentissages moins importants (mais rend l'apprentissage des outils nécessaires pour pouvoir y accéder). Le support des communications humaines par les technologies réseaux abroge les distances physiques et rend possible la réalisation d'activités collaboratives et à distance.

Aussi, l'utilisation d'environnements virtuels permet par simulation la génération de comportement préalablement défini. Cette possibilité permet d'étudier des phénomènes régis par des modèles mathématiques, de faire percevoir et manipuler cette simulation grâce à l'utilisation d'interface homme-machine et de proposer des activités humaines supportées par ordinateur.

Étant intéressés par la réalisation d'activités menées dans des environnements physiques signifiants (aspects situés de l'activité), nous présentons dans ce chapitre certaines des préoccupations majeures des communautés de l'IHM (informatique ambiante, réalité mixte, interaction tangible).

L'apparition de nombreux dispositifs numériques tels que les tablettes, les tables interactives, les murs interactifs, les lunettes de réalité augmentée et les caméras permet désormais de proposer des activités élaborées, utilisant à la fois un monde physique et un monde numérique riches en potentialités.

III.1.1 Réalité ? Virtualité ?

L'évolution des technologies dans le dernier demi-siècle a entre autres, permis une révolution numérique. Dans cette ère, l'accès immédiat à une quantité astronomique de connaissances

percevables à partir du monde numérique a été rendu possible par l'utilisation de dispositifs technologiques tels que des ordinateurs.

Pour séparer les phénomènes issus du monde physique et ceux ayant une existence numérique, de nombreux auteurs utilisent les termes « réel » et « virtuel » en opposition. L'utilisation de ces mots est très certainement liée à l'existence du terme « réalité virtuelle ». Cet oxymore vient de l'expression anglaise « virtual reality » introduite par Lanier en 1985 (Steuer, 1992). Cependant, le mot « **virtual** » en anglais signifie « quelque chose de proche de ce qui est désigné, mais pas complètement ». La traduction française est maladroite et aurait sûrement dû utiliser un autre mot. Fuchs (Fuchs, 2001) propose le terme vicariant, tout en sachant qu'il est vain de vouloir aujourd'hui changer de terme, car l'expression « réalité virtuelle » est entrée dans le langage courant.

L'utilisation du mot « **réalité** » (du latin *res*, la chose) a lui aussi un caractère discutable : la réalité désigne ce qui existe effectivement, qui est concret, par opposition à ce qui est imaginé, rêvé ou fictif. Or si la réalité virtuelle peut avoir quelque chose d'imaginaire ou de fictif, personne aujourd'hui ne pourrait nier l'influence du monde numérique sur nos activités dans le « monde réel » et donc n'est en aucun cas imaginé, rêvé ou fictif...

Dans le contexte dans lequel nous nous plaçons, la réalité, notre réalité, désigne l'ensemble des expériences que nous avons du monde qui nous entoure. Ainsi, chacun d'entre nous constitue sa propre réalité en fonction de son expérience passée et de sa perception de changement de l'environnement. De cette manière, un type de couleur (longueur d'onde) ne sera pas perçu de la même manière et une odeur n'aura pas la même signification selon les individus.

Si le propos ici n'est pas de critiquer ces termes employés, il sert de point d'entrée à la désambiguïsation des concepts manipulés. Nous évitons par la suite le terme virtuel, malgré son utilisation par une partie de la communauté, en rapport avec certaines problématiques du monde ludique où la réalité est opposée à l'imaginaire, comme une caractéristique de jeu. Ainsi, nous ne discutons pas par la suite de ces termes, mais nous ne les utilisons pas non plus.

Pour parler d'un environnement virtuel, nous parlons d'environnement numérique. Les termes « physique » et « numérique » remplacent les termes « réel » et « virtuel », sauf dans les cas où nous citons des articles de référence.

III.1.2 Évolution des tendances scientifiques

La notion de réalité mixte correspond à la réconciliation des mondes physique et numérique. Cette réconciliation est analysée par différentes communautés de chercheurs selon différents points de vue (les chercheurs du milieu sont souvent une origine issue d'une problématique plus ancienne). Nous nous basons sur l'analyse des communautés proposée par Couture (Couture, 2010) pour distinguer les différentes communautés connexes analysant l'environnement de réalité mixte. Cela permet de clarifier différentes définitions et positions sur les principaux concepts développés. Vouloir uniquement définir le terme de « réalité mixte » n'a pas de sens, car celui-ci n'est pas globalement admis par l'ensemble des communautés scientifiques concernées. Le mot en lui-même ne fait pas consensus, d'autres lui préfèrent d'autres termes associés à différentes tendances, mais pouvant être utilisés de manière quasiment identique selon le contexte : la réalité augmentée, l'informatique ubiquitaire et les interactions tangibles.

Trois articles fondateurs ont permis l'émergence de tendances incluses dans le concept de réalité mixte :

- Les environnements en réalité mixte avec réalité augmentée et virtualité augmentée (mixed and augmented reality), introduits par le dossier spécial de l'ACM publié en juillet 1993 intitulé « Computer-augmented Environments : back to the reality » proposé par Wellner, Mackay et Gold (Wellner et al., 1993) ;
- L'informatique ubiquitaire (ubiquitous computing), proposée par Weiser en 1991 dans l'article « The computer for the 21th Century » dans Scientific American ;
- Les interactions tangibles proposées par Fitzmaurice, Ishii et Buxton en 1995 (sous la dénomination « Graspable User Interface ») avec ces différentes évolutions terminologiques que sont l'informatique tangible (*tangible computing*) (Moran et al., 2001), les interactions basées sur la réalité (*Reality Based interaction*) (Jacob et al., 2008) et les « interactions tangibles » (Hornecker et al., 2006).

Chacune de ces différentes tendances possède sa propre conférence dominante : ISMAR (International Symposium in Mixed and Augmented Reality), UbiComp (International Conference of Ubiquitous Computing) et TEI (International Conference on Tangible and Embedded and Embodied Interaction) pour rapporter les évolutions des interfaces et des interactions, supportées par un système technologique, pour la réalisation d'activités solitaires ou collectives dans un environnement à la fois numérique et physique.

III.1.2.1 Réalité mixte

■ Réalité augmentée

Le terme « Réalité Augmentée » (RA) a eu plusieurs sens au cours du temps : il a d'abord été défini au début des années 1990 (Caudell et al., 1992) pour désigner *des systèmes interactifs caractérisés par la présentation combinée et en temps réel d'entités numériques et physiques*, mais cette définition ne sera pas gardée par la suite. Elle a ensuite été définie par Mackay (Mackay et al., 1993) comme une manière de réintégrer « *l'information électronique dans le monde physique* ». Il s'agit de « permettre aux gens de tirer parti de leurs compétences dans l'interaction avec le monde de tous les jours, tout en profitant de la puissance des réseaux informatiques (Mackay, 1998). Milgram (Milgram et al., 1994) à son tour la définit comme l'ensemble des cas où *un environnement physique est modifié au moyen d'objets virtuels*.

Azuma (Azuma, 2001), pour sa part, caractérise un système de réalité augmentée comme un ajout d'objets générés informatiquement au monde physique. Il discrimine trois propriétés nécessaires d'un système de réalité augmentée :

1. une combinaison d'objets réels et d'objets virtuels dans un environnement réel ;
2. des interactions possibles en (quasi) temps réel ;
3. une fusion perceptive ou conceptuelle des objets réels et virtuels.

Mackay (Mackay, 1998) définit quant à elle trois formes d'augmentations d'un objet :

1. En augmentant l'utilisateur par l'utilisation de dispositifs portés pour permettre l'acquisition et/ou la restitution de nouvelles informations contextualisées sur les objets physiques présents dans l'environnement ;
2. En augmentant l'objet physique de manière à ce que l'objet soit modifié en lui ajoutant un dispositif d'acquisition et/ou de restitution d'information et/ou de nouvelles capacités contrôlées numériquement ;
3. En augmentant l'environnement par des dispositifs indépendants qui fournissent et

collectent de l'information sur l'ensemble des entités présentes telles que les objets physiques présents et les utilisateurs.

En sus de leurs fonctions matérielles, les objets physiques acquièrent de cette manière une dimension numérique, par leur capacité à réagir non pas uniquement aux seuls phénomènes physiques auxquels ils sont soumis, mais aussi par un ensemble de signaux numériques qu'ils émettent ou reçoivent. Le système interactif n'est plus un lieu, mais un environnement, l'interface n'est plus un face-à-face, mais se dissout dans l'espace et dans les objets de notre entourage, les interactions ne sont plus réalisées face à un dispositif, mais dans un environnement. L'utilisation du système de traitement d'information n'est plus exclusivement un acte conscient et intentionnel, mais un support direct à la réalisation d'activités dans le monde physique.

Nous définissons un environnement de « réalité augmentée » comme un environnement dans lequel la superposition d'informations numériques contextualisées aux entités issues du monde physique est possible. Cette fusion perceptive peut aussi bien s'appliquer à la perception visuelle qu'aux autres types de perceptions.

■ Virtualité augmentée

La virtualité augmentée part du principe que l'homme interagit plus naturellement avec des objets du monde réel (entre autres grâce à notre expérience passée). Azuma (Azuma, 2001) définit les environnements de **Virtualité Augmentée** comme des environnements où **des objets réels permettent de manipuler/représenter des objets numériques**.

Le paradigme de la « virtualité augmentée » intègre l'ensemble des activités utilisant l'environnement physique pour contrôler l'environnement dans le but de sa modification. Cela inclut (Figure 16) :

- les interfaces textuelles, basées sur l'utilisation de commandes. Ces commandes sont des phrases indiquant les opérations et les noms des objets à manipuler ;
- les interfaces graphiques (GUI) dans lesquelles les objets manipulés sont représentés graphiquement par des pictogrammes, couramment liées au paradigme WIMP (Windows, Icons, Menus, Pointing Devices) ;
- les interfaces « post-WIMP » (Beaudouin-Lafon, 2000) constituent le dernier groupe « fourre-tout », avec l'introduction d'objets physiques pour interagir, l'utilisation simultanée de plusieurs canaux moteurs et perceptifs (interfaces multimodales) et l'utilisation de tout le corps humain. Ces types d'interfaces et d'interactions permettent, par rapport aux interfaces utilisateurs conventionnelles, une interaction plus intuitive et efficiente (Fitzmaurice et al., 1997) (Ishii et al., 1997).

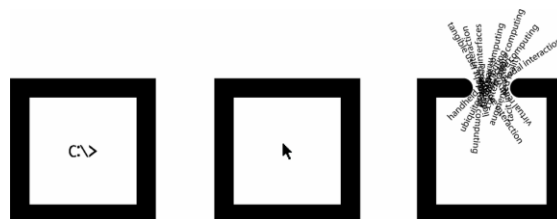


Figure 16 : Les différents styles d'interactions – à gauche l'interaction textuelle, au centre l'interaction graphique (WIMP) et à droite les interactions post-WIMP

De nombreuses publications ont été faites dans le sens de suppléer ce terme de post-WIMP par d'autres concepts visant l'unification des principales tendances telles que les interactions tangibles (Hornecker et al., 2006) et les interactions basées sur la réalité (Reality Based Interaction) (Jacob et al., 2008).

Ces deux tendances visent l'unification de l'ensemble des environnements et paradigmes d'interactions récemment proposés en incluant les interfaces tangibles (Fitzmaurice et al., 1995) (Ishii et al., 1997), la réalité augmentée (Caudell et al., 1992), la réalité virtuelle (Steuer, 1992), le context-awareness (Weiser, 1991) ou de l'informatique pervasive (Starnes et al., 1997), des interfaces portées ou mobiles, les interfaces multimodales (Bernsen, 1994) et l'informatique affective.

■ Réalité mixte

Milgram (Milgram et al., 1994) propose un « continuum réel virtuel » pour définir tout environnement (Figure 17). D'un côté de ce continuum, il existe un monde purement physique non informatisé et de l'autre côté un environnement numérique non perçu. Tout environnement qui est entre ces deux extrêmes est un environnement de réalité mixte, où objets physiques et objets numériques se mélangent à un moment donné.



Figure 17 : Continuum RA/VA (Milgram et al., 1994)

Ce continuum se divise en deux sous parties : la Réalité Augmentée et la Virtualité Augmentée selon l'utilisation ou non d'objets physique ou numérique.

Dubois (Dubois et al., 2001) propose une distinction fondamentale qui existe entre réalité augmentée et virtualité augmentée : lorsque l'utilisateur vise à modifier l'état du monde physique, avec une augmentation numérique ponctuelle, il est dans un environnement de réalité augmentée. Si celui-ci a, quant à lui, une action qui vise à modifier ou à percevoir des informations issues du monde numérique alors il est dans un environnement de virtualité augmentée.

D'autres définitions sont apparues par la suite : Renevier (Renevier et al., 2004) proposent de définir un système mixte comme « un système utilisant une ou plusieurs augmentations ». Le terme augmentation étant défini comme l'expression d'un lien entre objets issus du monde physique et d'objets issus du monde numérique (soit avec un ajout d'un objet présent dans un de deux mondes dans l'autre, soit avec une perception/manipulation d'un des deux mondes par les outils de l'autre monde).

Aussi nous pouvons observer que lorsque l'on parle de systèmes mixtes aujourd'hui, on parle de réalité augmentée au sens historique du terme, en englobant tout système mêlant objets physiques et objets numériques.

Nous adoptons la définition de Milgram, nuancée par celle de Dubois (Dubois et al., 2001). Ainsi, la « réalité mixte » désigne une hybridation entre monde physique et monde numérique. Elle se traduit par une association des informations issues de l'environnement physique avec celles perçues grâce à une interface et une manipulation d'entités issues d'un des deux mondes ayant des conséquences résultantes sur des entités issues des mondes physique et/ou numérique.

■ Les interfaces et interactions tangibles

Les interfaces tangibles ont été définies comme des interfaces homme-machine permettant d'augmenter le monde physique en couplant de l'information numérique aux objets et environnements de tous les jours (Ishii et al., 1997) (Figure 18).

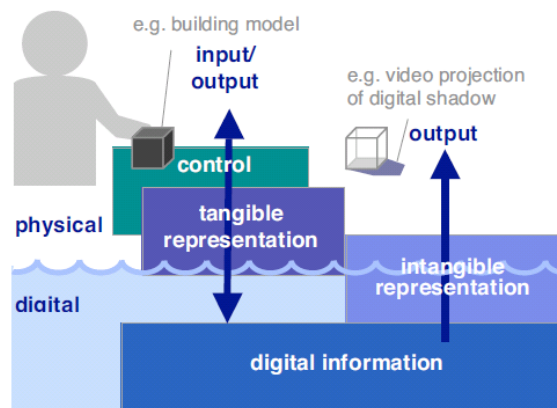


Figure 18: Modélisation d'une interface tangible (Ullmer, 2008)

Les propriétés suffisantes d'un système interactif pour qu'il soit considéré comme utilisant des interactions tangibles sont proposées dans (Ullmer et al., 2000) et précisées dans (Ullmer et al., 2008) :

- l'existence d'une **corrélation** entre des **objets physiques** et **certaines données** ou objets numériques. À un objet physique est associée une entité abstraite modélisée par de l'information numérique et un modèle informatique sous-jacent ;
- la possibilité de **manipulation** des **objets physiques** avec potentiel **d'incidence** sur les **objets numériques** sous-jacents. L'objet physique incarne les mécanismes de contrôle de l'information numérique. Dans certains cas, l'**objet physique** peut aussi être **modifié** en réponse à une modification du **modèle numérique** du système (par des moteurs ou autre...) ;
- l'**entité** abstraite est **représentée** à la fois par des **objets physiques** et des **objets numériques perceptifs** avec fréquemment une prédominance des objets physiques sur les objets numériques : les **objets numériques** ont plutôt un **rôle** de **perception** des informations dynamiques des objets, alors que les **objets physiques** servent plutôt dans la **connaissance de l'existence** de l'entité et **son contrôle**. Les **données numériques** perçues **aident** au **contrôle** des **objets physiques**. La dynamisme de ces données numériques doit être perçue en quasi temps réel afin d'assurer la cohérence entre monde physique et monde numérique et la coïncidence entre la perception des objets et leurs manipulations ;
- Les **propriétés** des **objets physiques incarnent**, au moins partiellement, l'**état du système numérique**. Ainsi, si les propriétés du modèle numérique changent, alors, les propriétés des

objets physiques doivent aussi changer.

Avec des interfaces tangibles, l'utilisateur perçoit le résultat de son action à la fois par l'interface utilisateur « classique », et aussi par l'objet physique qu'il manipule. Ishii (Ishii, 2008) a modélisé le système interactif {utilisateur, interface tangible, système numérique} et propose trois boucles de rétroactions utilisables :

- La première boucle de rétroaction est liée à la perception haptique de l'objet physique manipulé. Lorsque l'utilisateur manipule un objet physique, il a un triple retour (haptique, kinesthésique et sensorimoteur) de son opération (Figure 19), sur le succès d'une opération (il perçoit que sa main a bougé par exemple) ou l'échec (il perçoit une résistance liée à la présence d'un autre objet physique). Ainsi, l'utilisateur sait que son action a eu une incidence sur le monde qui peut être perçue dans la suite de ces différentes actions ;
- La seconde boucle de rétroaction est quant à elle liée à la représentation numérique de l'état du modèle. Le système perçoit des informations sur l'état du monde physique, traite ces modifications et propose des informations perceptibles ;
- La troisième boucle de rétroaction est associée à la perception des modifications des propriétés du monde physique par des transducteurs contrôlés par le modèle numérique.

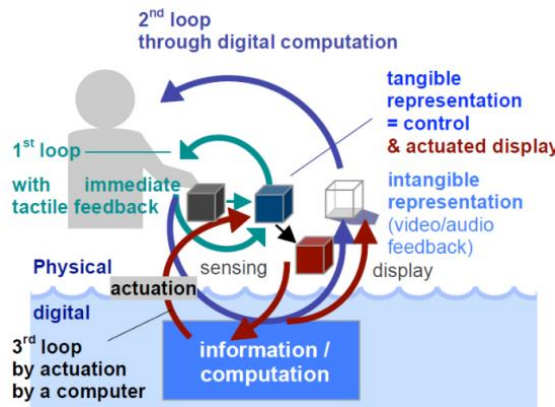


Figure 19 : Les trois boucles de rétroaction (Ishii, 2008)

Si le premier retour perceptif est quasi-instantané (correspondant au temps qui existe entre la modification des propriétés du monde, leur perception par les mécanorécepteurs, leur envoi et traitement par le cerveau), le second et le troisième retour interviennent plus tard (généralement le délai est de l'ordre de 100 ms à 1 s). Pour permettre un sentiment de couplage des entités physiques et numériques, il est nécessaire de diminuer au maximum cette différence temporelle de perception (latence).

Il existe aujourd'hui des systèmes interactifs utilisant principalement les deux premières boucles. Le nombre de systèmes utilisant la troisième boucle est aujourd'hui plus limité. Dans les exemples notables, nous pouvons citer PinWheels (Ishii et al., 2001) et Curlybots (Frei et al., 2000). La difficulté de l'utilisation de cette troisième boucle réside dans la complexification des objets physiques utilisés dans l'environnement. En effet, il est nécessaire d'utiliser des moteurs ou autres transducteurs pour permettre l'utilisation de cette troisième boucle et ainsi entrer dans un autre niveau de complexité de construction des prototypes physiques. L'utilisation de ces deux premières boucles de rétroaction est déjà largement bénéfique selon Ishii (Ishii et al., 2001), grâce aux sentiments de satisfaction résidant dans l'instantanéité de la première boucle avant que la deuxième arrive. Après perception de ce premier retour, l'utilisateur peut réaliser d'autres actions, avec un besoin moins important de retour numérique. Certains auteurs comme Fishkin (Fishkin, 2001) proposent de caractériser les interfaces tangibles par rapport à l'association

réalisée entre les dispositifs physiques et les dispositifs numériques. Pour cela, les métaphores de verbe (association liée à l'action) ou de nom (association entre objet) peuvent être réalisées.

La notion d'**interaction tangible** (Hornecker et al., 2006) est plus large que celle des interfaces tangibles d'Ishii et Ullmer (Ishii et al., 1997) (Ullmer et al., 2001). Ils utilisent volontairement le terme interaction à la place d'interface, pour ne pas se limiter à l'étude de la frontière entre les mondes physique et numérique mais plutôt pour centrer la description sur l'utilisateur de l'environnement. Cette mouvance est adoptée par une partie de la communauté scientifique (la conférence du domaine s'appelle désormais Tangible Embedded and Embodied Interaction), malgré les ambiguïtés que cela pose (Hornecker et al., 2008).

Couture (Couture, 2010) propose une vision large des interactions tangibles, avec pour objectif de séparer les interactions faites en deux types :

- Les interactions tangibles à petits grains, lorsque les utilisateurs **agissent avec des petits objets physiques**, qui peuvent être attrapés dans un espace délimité par l'envergure des bras (c'est-à-dire les interfaces tangibles dans son sens premier) ;
- Les interactions tangibles à gros grains, lorsque les utilisateurs utilisent l'intégralité du corps et au sein de grands espaces.

Les interactions tangibles (Hornecker et al., 2007) incorporent :

- la tangibilité des interfaces ;
- l'incarnation physique des objets numériques ;
- les interactions homme-machines utilisant les mouvements du corps ;
- les interfaces embarquées dans les objets du quotidien ;
- l'interaction dans des contextes physiques.

Ce paradigme unifie (Hornecker et al., 2006) :

- les paradigmes post-WIMP (Beaudouin-Lafon, 2000) portés vers une activité numérique tels que les environnements en réalité mixte (Milgram et al. 1994), les interfaces tangibles (Ishii et al., 1997), la réalité virtuelle,
- les paradigmes portés vers la réalisation d'une activité physique comme la réalité augmentée (Azuma et al., 1994) et les interfaces portées (Starnier et al., 1997),
- le context-awareness – prise en compte du contexte (Weiser, 1991) (Dourish, 2004), s'appuyant sur l'informatique pervasive, mobile et multimodale (Berssen, 1994).

Nous considérons ainsi que le cadre des interactions tangibles (à petits et à gros grains) correspond à l'ensemble des environnements envisageables pour les jeux sérieux.

Nous détaillons dans le prochain paragraphe ces types d'environnements selon les différents types de dispositifs technologiques qu'ils incorporent.

■ Objets physiques et objets numériques

Les objets réels et virtuels ont d'abord été définis par Milgram (Milgram et al., 1994) :

- Les objets **physiques** (réels) sont des objets qui ont une existence concrète et objective. Pour être vu, un objet physique peut-être perçu directement et/ou numérisé puis restitué par un dispositif de sortie.
- Les objets **numériques** (virtuels) ont une existence concrétisée physiquement sous forme d'informations placées en mémoire et ayant un comportement spécifié. Ils ne peuvent être perçus et/ou manipulés qu'avec utilisation d'interface (homme-machine).

Une définition représentative qui distingue les objets en trois catégories est proposée par Trevisan (Trevisan et al., 2003) :

- **Les objets physiques** (ou réels) sont des objets qui ont une existence concrète et objective et qui peuvent être observés directement.
- **Les objets numériques virtuels** sont des objets qui existent par essence ou effet, mais non formellement ou concrètement. Pour être vus, ils doivent être simulés.
- **Les objets numériques réels** sont des objets réels perçus par des moyens numériques comme la vidéo d'une scène réelle.

Nous caractérisons plusieurs types d'objets interactifs selon deux facteurs primordiaux : un objet peut être physique ou numérique, et peut être représenté physiquement, numériquement ou de manière mixte.

La première distinction est la même que celle du continuum RA-VA de Milgram (Milgram et al., 1994) et la deuxième distinction est plutôt celle de Trévisan (Trevisan et al., 2003) sur la manière dont les objets sont représentés à l'utilisateur.

III.1.2.2 Informatique ambiante

L'introduction des technologies informatiques dans nos vies s'est faite progressivement et la banalisation des dispositifs technologiques (les téléphones et les ordinateurs) amène petit à petit à transformer l'environnement où l'informatique devient omniprésente (ambiante).

■ Le contexte

La notion du contexte a été proposée pour prendre en compte les différentes caractéristiques de l'environnement, des utilisateurs et des dispositifs en présence. En informatique ambiante ce terme est redevenu prépondérant, avec des auteurs tels que (Weiser, 1991) (Ryan et al., 1997) (Dey et al., 1999) et (Dourish, 2001) sans pour autant trouver une définition consensuelle.

La détection des différentes composantes de l'environnement permet à un système informatique de réagir dynamiquement à ses modifications et adapte les services proposés à l'utilisateur en créant un logiciel proactif. Selon (Moran et al., 2001), la distinction entre le contexte et les IHM sont les mêmes qu'entre les relations implicites et les relations explicites : le contexte est utilisé pour interpréter les actes et adapter le système alors que les IHM permettent une action directe des utilisateurs sur le système. Dans l'article qui a introduit le terme « context-awareness » (Schilit et al., 1994), le contexte est considéré comme **la localisation, l'identité des personnes et des objets autour et les changements de ces objets**. Dans une autre définition (Brown et al., 1997) définissent le contexte comme **la localisation, les identités des personnes autour de l'utilisateur, l'heure, la saison, la température**, etc. après avoir défini le contexte comme les éléments de l'environnement d'utilisateur que l'ordinateur peut reconnaître (Brown, 1996), (Dey, 1998) propose aussi d'intégrer dans le terme de contexte **le statut émotionnel, la concentration**.

Schilit et al. (Schilit et al., 1994) dégagent les éléments suivants pour décrire le contexte :

- contexte du dispositif : processeurs disponibles, dispositifs accessibles pour l'interaction input/output, capacité de réseau, connectivité, coût de dispositifs.
- contexte de l'utilisateur : localisation, personnes à proximité, situation sociale.
- contexte physique : niveau de bruit et de luminosité.

En définitive, pour nous, le contexte est un ensemble d'informations qui concernent les utilisateurs, les environnements et les activités, qui peuvent être utilisées pour faciliter des tâches de l'utilisateur et les activités d'apprentissage. Dans cette vision, il nous semble nécessaire d'aborder les informations de contexte selon différents niveaux d'abstraction, et si possible de la même manière que les informations issues des interfaces hommes-machines. Pour cela, nous retenons deux types de contextes importants : le contexte des utilisateurs et le contexte de l'environnement physique.

Dans cette approche, pour préciser les aspects importants de chacun de ces contextes, nous voyons un intérêt très clair à pouvoir contextualiser systématiquement :

- **l'utilisateur** pour avoir accès à son identité, ses possibilités d'actions selon son rôle, son parcours, son niveau d'apprentissage, etc.
- **les tâches/activités** réalisées pour présenter les ressources d'apprentissage appropriées, adapter les IHM selon la complexité de la tâche, tracer la progression de tâches, etc.
- **l'environnement** pour déterminer les états des différents objets présents dans l'environnement physique et adapter le système en fonction.

■ Applications contextualisées

Depuis l'article de Schilit et al. (Schilit et al., 1994), les applications dites contextualisées peuvent s'adapter au contexte. Le terme « *contextualisé* » a de nombreux synonymes comme « *adaptive* », « *situated* », « *context-sensitive* », « *reactive* », « *environment-directed* », « *contextual* ». Hull et al., (Hull et al., 1997) définissent la contextualisation (context-awareness) comme la capacité de dispositifs de détecter, sentir, interpréter, et répondre aux aspects de l'environnement d'utilisateur et des dispositifs eux-mêmes. Brown (Brown, 1998) définit à son tour les applications contextualisées comme « *les applications qui fournissent automatiquement l'information et/ou proposent des actions selon le contexte d'utilisateurs détecté par les capteurs* ». Dey (Dey, 2001) définit quant à lui les systèmes contextualisés plus généralement comme : « *un système qui utilise la prise en compte du contexte pour fournir des informations et/ou des services pertinents aux utilisateurs pour la réalisation de leurs activités* ».

Byun, et al. (Byun, et al., 2004) donnent une définition qui est généralement la plus acceptée : « **un système est contextuel s'il peut extraire, interpréter, et utiliser de l'information du contexte et adapter les fonctionnalités au contexte d'utilisation en cours** ».

Pascoe (Pascoe, 1998) propose une taxonomie orientée vers les fonctionnalités proposées :

- la capture contextuelle relative à la capacité de détecter l'information contextuelle et la présenter à l'utilisateur.
- l'adaptation contextuelle relative à la capacité de modifier un service automatiquement lors d'un changement du contexte.
- la découverte contextuelle de ressources relative à la capacité de localiser et à exploiter les ressources et les services qui sont relatifs au contexte de l'utilisateur.
- l'augmentation contextuelle relative à la capacité d'ajouter de l'information par l'utilisateur sur le contexte actuel.

Dey (Dey, 2000) fait une combinaison de ces idées et propose trois catégories générales des applications contextuelles. Il conclut que les applications contextuelles peuvent supporter :

- La présentation des informations et des services à l'utilisateur ;
- L'exécution automatique d'un service ;

- Le marquage du contexte par rapport à l'information contextuelle.

■ Processus de prise en compte du contexte

Greenberg (Greenberg, 2001) pointe l'aspect dynamique du contexte. La période de temps, les épisodes d'utilisation, les interactions sociales et les objectifs peuvent évoluer.

La contextualisation met en avant la discrétisation de la prise en compte du contexte. Selon cette logique, lorsque le contexte est modifié, l'un des utilisateurs grâce à une action réalisée ou le système directement permet la compréhension des modifications apportées. Un des exemples les plus classiques de contextualisation pourrait être lié au rapprochement d'une puce RFID vers un lecteur. Cette action réalisée par l'utilisateur permet aux systèmes de connaître l'existence de la personne comme étant proche du lecteur et ainsi permet la modification du système en conséquence.

Pour réaliser ce type de système, Schilit (Schilit et al., 2002) identifie trois étapes dans un processus de contextualisation :

- la **découverte** du contexte est réalisée pour capturer toutes les informations contextuelles qui sont disponibles dans un contexte d'utilisateur, à partir des senseurs (matériels ou logiciels) ou d'autres moyens.
- l'**interprétation** est responsable de la sélection et la transformation des informations contextuelles obtenues dans l'étape précédente, en informations contextuelles utiles ;
- l'**abstraction** implique l'information contextuelle et la transforme en action contextuelle.

Ce processus peut être réduit selon les besoins des concepteurs. En combinant le processus de contextualisation proposé par Schilit (Schilit, et al., 2002), nous pensons que trois étapes sont essentielles dans n'importe quel processus de contextualisation : l'acquisition du contexte, la prise en compte le contexte dans le modèle associé et l'exécution des actions contextuelles.

III.1.3 Structuration de la problématique RM

Les travaux de Mazalek (Mazalek et al., 2009) recensent dans un espace en deux dimensions 28 cadres et taxonomies concernant les environnements mixtes. Les deux dimensions orthogonales sont l'objectif du cadre et le point de vue du cadre (Figure 20).

Les objectifs des différentes taxonomies proposées sont :

- la conceptualisation, utile pour apprendre et comprendre les différents types d'environnements existants, ainsi que lors des choix réalisés en amont de la conception ;
- la conception, utile pour distinguer les caractéristiques clés des environnements et aider certains choix de spécification ;
- la fabrication, utile pour permettre une relation avec des cadres de développement et/ou des architectures fonctionnelles dirigeant le fonctionnement des futures applications.

Les points de vue recensés sont :

- orientés technologies avec description des dispositifs vers l'ensemble des composants technologiques dont ils sont composés ;
- orientés interaction, avec description des possibilités d'usages ;
- orientés par la physicalité avec description de l'environnement et des entités présentes ;

- orientés par le domaine d'activité avec des exemples concrets d'utilisation ;
- orientés vers l'expérience des utilisateurs en explicitant la manière dont l'environnement est perçu.

Ces différentes études mettent en exergue différents aspects caractéristiques des environnements de réalité mixte que nous mettons en avant (Figure 20) : les cadres décrivant conceptuellement les environnements de réalité mixte (§ III.1.2.1), différentes technologies sous-jacentes (§ III.2), différents apports de l'utilisation de ces technologies (approche orientée expérience) (§ III.3), différentes utilisations pertinentes des technologies (approche orientée domaine) (§ III.4). Une synthèse de ces différentes caractéristiques est réalisée par un tableau récapitulatif en § III.4.

Certains des cadres présentés sont sur plusieurs approches en même temps et donc sortent partiellement de la structure que nous proposons.

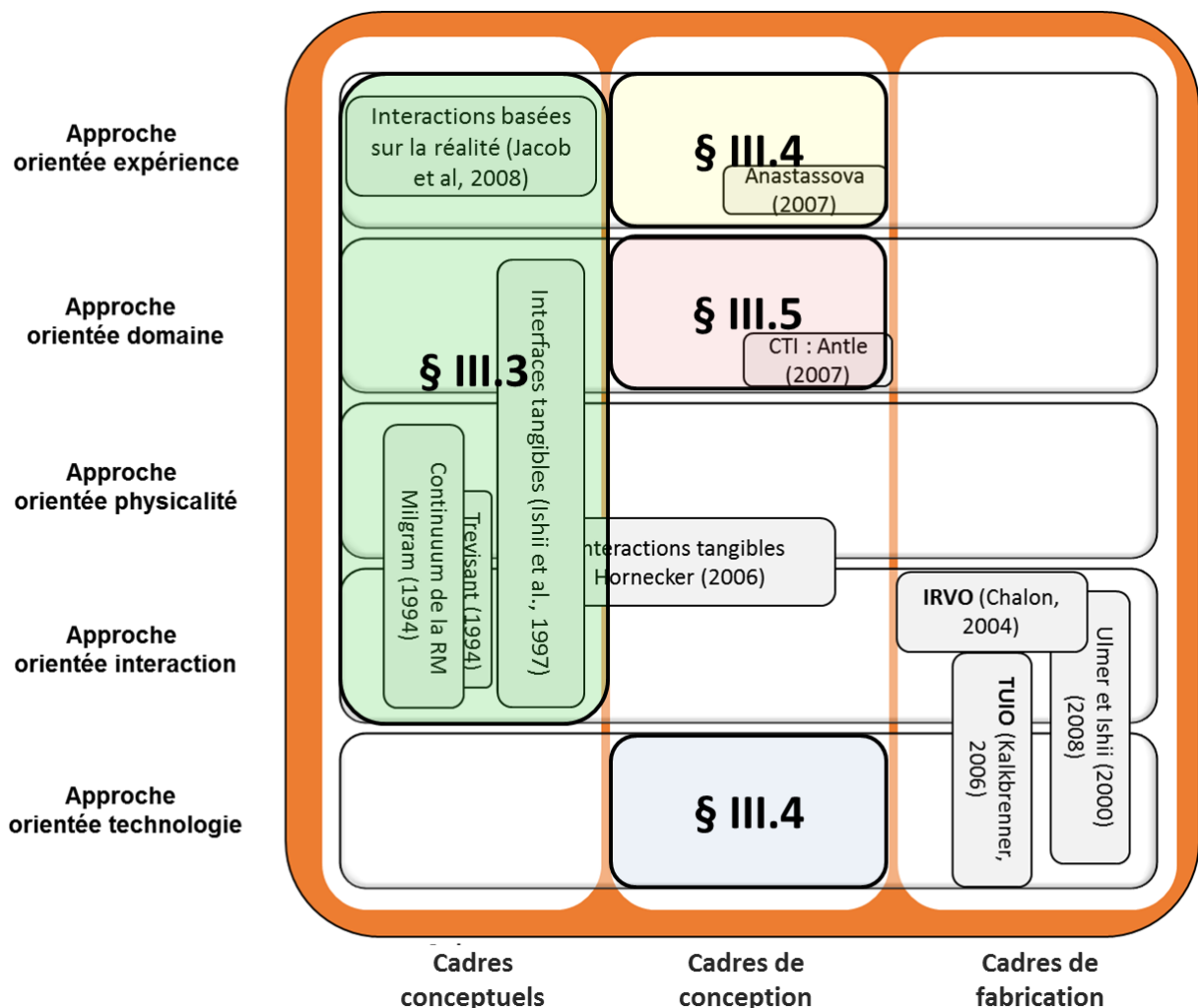


Figure 20 : Structure de la problématique RM (adapté de Mazalek et al., 2009)

III.2 Les différents types de dispositifs technologiques

Les dispositifs supportant des environnements mixtes utilisent *a minima* une configuration matérielle composée de trois constituants (différents ou fusionnés dans une même entité) :

- un ou des dispositif(s) de restitution de l'information numérique ;
- un ou des dispositif(s) de captation de l'information issue du monde physique, tels que des capteurs ;
- une unité centrale, faisant un calcul automatique sur les données qu'elle reçoit.

III.2.1 Dispositifs de sortie

III.2.1.1 Vidéoprojecteurs

L'utilisation de vidéoprojecteurs est une méthode utilisée pour afficher des retours visuels sur de nombreux supports comme sur un mur, un drap, une table ou désormais n'importe quelle surface. Il existe deux types de technologies de projecteurs : les LCD et les DLP :

- Les projecteurs LCD (Liquid Crystal Displays) sont constitués de deux polariseurs, disposés de chaque côté de deux plaques de verre enserrant des cristaux liquides. À chacune des interfaces avec les cristaux liquides, une couche de polymère rainurée assure l'ancrage des molécules au repos. L'éclairage se fait grâce à l'image d'un écran à cristaux liquides couleur de petite taille, d'environ deux centimètres de diagonale, projetée par un dispositif optique comparable à un projecteur de diapositives comprenant une lampe halogène de forte puissance.
- Les projecteurs DLP (Digital Light Processing) utilisent des milliers de petits miroirs. Ce type de technologie permet d'avoir un meilleur ratio de contraste et d'avoir une taille de vidéoprojecteur beaucoup plus petite, mais avec un temps de réponse plus lent.

Une des caractéristiques importantes dans notre cas est la puissance lumineuse, mesurée en lumens. Dans notre cas, une trop forte puissance peut être gênante pour l'utilisateur, aveuglé par le vidéoprojecteur. Un effet de point chaud peut être ressenti au bout de quelques minutes d'utilisation.

Ces dernières années, les vidéoprojecteurs ont atteint un rapport performance/prix très attractif. La nouvelle technologie des projecteurs à Leds a permis un niveau de miniaturisation extrême.

III.2.1.2 Les écrans LCD

Les écrans LCD sont classiquement utilisés pour les écrans d'ordinateurs, TV, smartphone ou tablette. Il est aussi possible de créer des tables interactives : les écrans LCD sont transparents, avec une matrice de cristaux liquides sans aucune opacité. En ne gardant que la matrice de cristaux liquides, les composants électroniques et l'alimentation. Dans cette configuration, la matrice laisse passer les ondes infrarouges, tout en ayant une meilleure qualité d'image que celle proposée par les vidéoprojecteurs. Certains des écrans ne sont pas adaptables à cette manipulation à cause d'un câble reliant la matrice à ses composants trop court.

III.2.1.3 Casque de réalité augmentée

Le casque de réalité augmentée est proposé depuis plus de 10 ans par différentes compagnies. Ces casques proposent sous forme de surfaces positionnées juste devant l'œil d'ajouter des informations numériques aux informations acquises du monde physique. Pour cela, deux types de technologies sont principalement proposées :

- *Optical see-through* qui utilise le principe des lentilles et des lunettes, permettant d'avoir directement le monde physique dans le champ de vision ;
- *Video see-through*, qui affiche à l'utilisateur une image fusionnant des informations purement numériques et des informations issues d'une caméra, permettant d'avoir les

informations sur le monde physique.

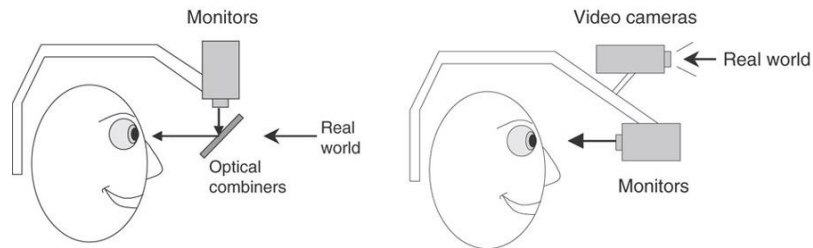


Figure 21 : Optical see-through (à gauche) et video see-through (à droite)

III.2.1.4 Affichage tête haute

Il est aujourd'hui possible d'ajouter une information de navigation en utilisant un affichage tête haute (*head-up display* - HUD) intégré à la vitre de l'habitacle ou directement dans le casque. L'affichage tête haute consiste à superposer des informations facilitant le pilotage sur l'environnement physique.



Figure 22 : Utilisation d'un HUD dans un avion

Mercedes et BMW ont fait des démonstrations de systèmes projetant des informations utiles à la conduite sur le pare-brise de véhicules. BMW projette avec un laser ultraviolet sur un matériau phosphorescent en surface du pare-brise. L'image étant formée sur la surface du pare-brise, cela nécessite de suivre la position des yeux du conducteur. On peut voir cette technique comme une évolution des viseurs tête haute des cockpits d'avions de chasse.



Figure 23 : Système DICE proposé par Mercedes-Benz (a) et BMW (b)

Les afficheurs têtes hautes sont des systèmes de visualisation d'informations numériques placés dans l'habitacle de l'avion/voiture. Ils permettent la visualisation d'informations ajoutées à l'environnement physique. Ils peuvent être contextualisés par rapport à l'environnement physique (la direction à prendre) et/ou par rapport à la voiture (la vitesse ou l'orientation par exemple).

En conclusion, nous pouvons dire que l'utilisation de ces différents dispositifs dépend principalement du type d'usage visé. Il s'agit notamment de distinguer le type de zone d'affichage souhaité, que ce soit pour une image sur une surface ou un affichage porté. Dans notre cas, l'utilisation de vidéoprojecteur est le choix le plus adapté, car adaptable aux différentes situations imaginées.

III.2.2 Dispositifs d'entrée

III.2.2.1 Les technologies de capture du contexte

La capture du contexte et plus spécifiquement la capture de la localisation des personnes et des objets ont été étudiées par de nombreux chercheurs. La collecte d'information sur la position des utilisateurs, qui ils sont, ce qu'ils font et avec qui, sont autant d'informations contextuelles disponibles aujourd'hui pour informer le système et adapter ses services disponibles et/ou les techniques d'interaction utilisées. Actuellement, beaucoup d'erreurs sont constatées lors du traitement d'informations contextuelles, ce qui aujourd'hui constitue une des limites fondamentales dans le développement d'applications contextualisées. Une des approches actuelles est de supporter des techniques génériques de traitement de l'information, pour fournir des services de plus haut niveau aux développeurs du logiciel.

Les technologies de capture de la localisation sont déjà bien établies et commercialisées. Les systèmes GPS, l'utilisation d'une/plusieurs borne(s) wifi ou d'antenne(s) téléphonique par identification ou la triangulation de la réception des puissances d'ondes, la détection d'une puce RFID ou encore le traitement d'une image captée sont autant de possibilités pour connaître la position d'un utilisateur. Nous faisons ici un rapide survol de technologies de capture de la localisation utilisées dans les domaines de la mobilité : le GPS et la technologie RFID.

■ GPS

Pour les applications mobiles et contextualisées en plein air, le GPS est le choix commun. Le GPS (*Global Positioning System*) est un système de navigation par satellites destiné à fournir la localisation, la vitesse et l'heure, n'importe où à la surface de la terre. Ce système a été mis en place par le Département de la Défense des États-Unis. Il comprend 29 satellites orbitant autour de la terre. Un récepteur GPS capte les signaux d'au moins quatre satellites, calcule les temps de propagation de ces signaux entre les satellites et lui, et détermine ainsi sa localisation par rapport aux satellites. Un utilisateur muni d'un récepteur GPS peut se localiser et s'orienter dans l'air ou dans l'espace au voisinage de la terre. La précision du positionnement par GPS va de 100 mètres à quelques mètres en temps réel pour l'utilisation civile. Elle peut atteindre quelques millimètres pour les applications militaires.

Pour utiliser la localisation GPS, il faut un récepteur GPS pour recevoir les signaux émis par des satellites, et une plateforme capable d'exécuter des fonctions de traduction, de suivi, et de

gestion de cartes, etc. Des systèmes de l'apprentissage mobile peuvent utiliser ces données de localisation comme l'information contextuelle.

■ RFID

Les technologies RFID (*Radio Frequency IDentification*) mémorisent et récupèrent à distance des données en utilisant des étiquettes et des lecteurs RFID. Les étiquettes peuvent être encapsulées dans des badges en papier ou en plastique, et les lecteurs RFID peuvent être installés sur des dispositifs mobiles comme un PDA, ou sur des dispositifs fixes comme des bornes. Les étiquettes RFID constituent une bonne solution pour détecter par exemple le passage des objets ou personnes à proximité d'autres (péage par exemple).

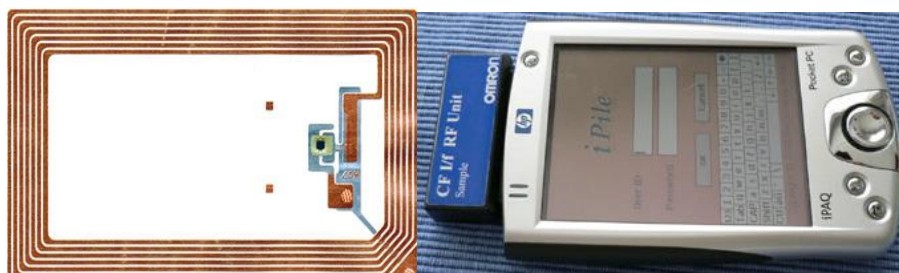


Figure 24 : Étiquette RFID et PDA équipé d'un lecteur RFID

Il existe deux types de technologie RFID :

- **La technologie RFID passive** utilise une antenne et une puce, mais n'a pas de source d'alimentation. Ces étiquettes doivent être stimulées à faible distance par un signal radio externe pour échanger des données. Ces étiquettes ne peuvent être que lu par les lecteurs RFID ;
- **La technologie RFID active** possède une source d'alimentation interne. Ces étiquettes peuvent donc émettre un signal radio à une portée plus grande. Certaines étiquettes peuvent être modifiées par les lecteurs RFID.

En synthèse, pour réaliser de systèmes contextualisés, différents types de technologies existent. Pour savoir laquelle choisir, différentes caractéristiques sont déterminantes :

- l'environnement est à l'intérieur/extérieur (Borriello et al., 2002) ;
- la précision requise (Hazas et al., 2004);
- la mobilité des acteurs/dispositifs (Hazas et al., 2004).

Chaque technologie est plus adaptée à certains environnements : le GPS fonctionne principalement à l'extérieur et la technologie Bluetooth ne fonctionne qu'à faible distance. Pour supporter le passage entre plusieurs environnements (Borriello et al., 2002), une des solutions est de supporter en même temps plusieurs technologies. Quand l'utilisateur est à l'intérieur, son système fonctionne en WIFI, puis en 3G lorsqu'il sort du bâtiment.

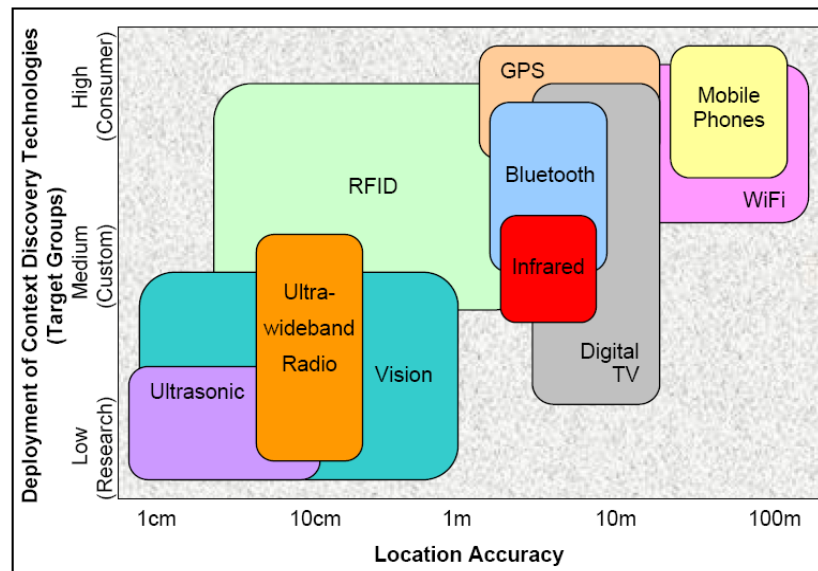


Figure 25 : Technologies de localisation (Hazas et al., 2004)

Les dispositifs actuels les plus utilisés pour la position sont les téléphones puis les GPS, cependant leur précision pose problème pour de nombreuses applications contextualisées. D'autres technologies existent, comme les technologies RFID, WiFi et Bluetooth qui ont une précision de quelques centimètres à quelques mètres (Figure 25). Ces types de technologies, accompagnés de solutions optiques avec algorithmes de reconnaissance peuvent être utilisés pour capturer la localisation pour des besoins de contextualisation.

La décision sur le choix des technologies à employer doit à la fois prendre en compte les besoins du logiciel et les facilités d'intégration de ces technologies dans l'environnement d'utilisation.

III.2.2.2 Les technologies optiques / infrarouges

Les technologies précédentes ont pour désavantage d'avoir des écrans fragiles et une taille réduite. Pour dépasser ces limites, nous nous sommes intéressés aux technologies utilisant de la lumière infrarouge. L'infrarouge est simple à mettre en œuvre, peu coûteux et adapté aux larges écrans, tout en conservant l'aspect multitouche.

■ Caméras

Depuis l'invention des caméras 35mm en 1890, différentes technologies d'acquisition d'images ont vu le jour, mais celles-ci fonctionnent quasiment toutes sur le principe de la photographie : elles capturent des images qu'elles enregistrent (initialement sur des films et aujourd'hui numériquement).

Tous types de caméras peuvent être utilisés pour l'acquisition et le traitement d'images numériques. Cependant, la simplicité d'intégration des webcams rend aujourd'hui ces capteurs les plus utilisés.

Deux types de technologies dominent le marché : les technologies CCD et les technologies CMOS. Les technologies CMOS, moins coûteuses, prennent une part de plus en plus importante du marché. Ces deux technologies convertissent un rayonnement électromagnétique en un signal électrique analogique. Ce signal est ensuite amplifié, puis numérisé par un convertisseur analogique numérique et enfin traité pour obtenir une image numérique.

■ Les caméras de profondeurs : Kinect

La société Primesense propose le produit PrimeSensor, connu par le grand public sous la dénomination Kinect (Microsoft Xbox). Ce dispositif utilise comme capteurs d'entrée une caméra couleur, une caméra infrarouge et un projecteur infra rouge de lumière structurée. Le projecteur infrarouge projette sur l'environnement à analyser un motif constitué de points lumineux placés selon un motif pseudo aléatoire.

Le léger décalage entre la caméra infrarouge et le projecteur permet de déterminer, par traitement de la parallaxe de chaque point, la distance entre le dispositif et le point projeté.

Obtenir l'information de relief permet d'une part de connaître les mouvements des utilisateurs, mais permet aussi de rendre une intégration plus réaliste d'objets numériques dans le monde réel. L'information de profondeur permet aussi de connaître la forme des différents objets et ainsi de savoir si les objets numériques entrent en collision avec ceux de la réalité et de masquer les objets virtuels par les éléments réels.

■ Techniques optiques pour la réalisation de tables

Afin de permettre la réalisation de surface supportant la reconnaissance des doigts et des objets, différentes techniques existent. Nous avons présélectionné les techniques optiques, étant les seules à la fois simples à concevoir, à réaliser et à utiliser. Ces techniques se basent sur l'utilisation de caméra infra-rouge et de lumière infra-rouge projetée.

□ FTIR (Frustrated Total Intern Reflection)

Le principe de la technologie FTIR (Hansen, 2005) repose sur le principe physique de réflexions internes : la lumière est entièrement réfléchi à la frontière d'un objet lorsque deux milieux d'indices optiques sont différents et lorsque l'angle d'incidence est suffisamment grand. La lumière est alors piégée à l'intérieur d'une plaque de plexiglas. Les LED infra-rouge sont situées sur la tranche de la plaque de plexiglas. L'appui d'un doigt sur la surface rend les rayons lumineux « frustrés » : ils peuvent passer dans la zone de contact, du fait du nouvel indice optique introduit et il n'y a plus de réflexion totale (Figure 26). La lumière infrarouge est alors diffusée dans l'autre direction, vers une caméra infrarouge, pouvant récupérer par l'intermédiaire d'un flux vidéo les formes ainsi illuminées.

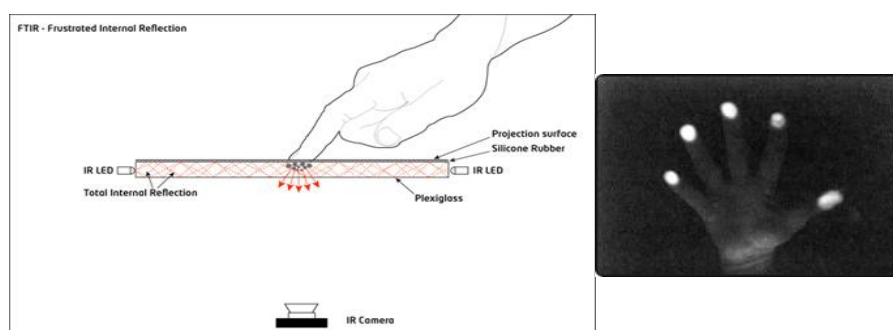


Figure 26 : Fonctionnement de la technologie FTIR

L'utilisation de la technologie FTIR requiert l'utilisation d'une surface de couplage placée entre le guide d'onde (la plaque de plexiglass transparente) et la surface de projection (plaque de plexiglass semi-transparente). La surface de couplage est déposée entre la plaque d'acrylique et l'écran de projection à partir d'une fine couche de silicone, vaseline, de graisse ou d'eau. Cette surface permet d'obtenir des formes de manière plus distincte grâce à une réfraction de la lumière plus importante lorsque l'on glisse les doigts sur la plaque. Sans surface de couplage,

la détection des doigts est beaucoup plus difficile. Cette couche doit avoir un indice de réfraction supérieur au guide d'onde.

□ **DI : Diffused Illumination**

La technologie DI (et ses variantes RDI, Rear DI et FDI, Front DI) est relativement proche de la technologie FTIR, cependant l'illumination est réalisée par des illuminateurs placés en dessous et non plus sur la tranche. La technologie RDI a pour principal intérêt de pouvoir détecter des objets posés sur la surface de plexiglas par diffusion directe de la lumière.

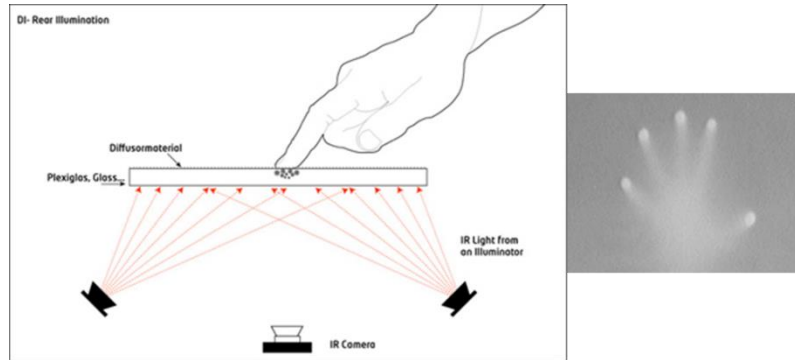


Figure 27 : Fonctionnement de la technologie DI

□ **DSI : Diffuse Surface Illumination**

La technologie DSI est un compromis entre les technologies FTIR et RDI. L'illumination vient aussi de la tranche, comme pour la technologie FTIR, mais cette fois, le plexiglas présente des particules microscopiques qui dévient la lumière et permettent d'avoir une diffusion efficace dans le plexiglass ainsi qu'un éclairage homogène sur toute la surface. Les doigts sont détectés par diffusion de la lumière infrarouge au contact avec la surface du plexiglas. Cette technologie ne nécessite pas non plus de couche de silicone, mais le plexiglas utilisé est coûteux. Cette technologie est celle utilisée par Microsoft pour sa table tactile Surface, première du nom.

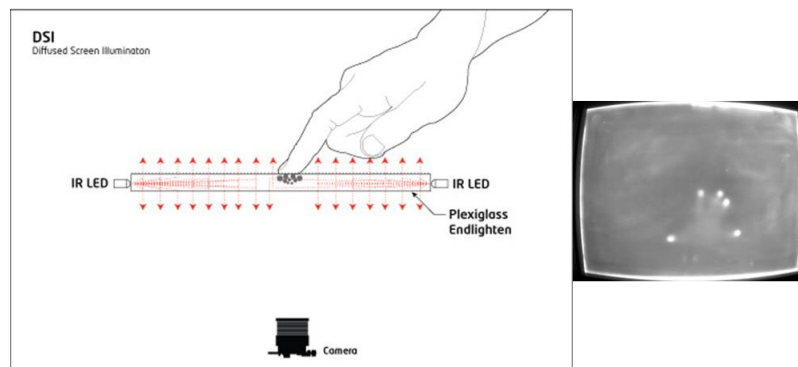


Figure 28 : Fonctionnement de la technologie DSI

Nous proposons dans un tableau récapitulatif (Tableau 1) les avantages et inconvénients des trois technologies présentées ci-dessus.

	Avantages	Inconvénients
FTIR	<ul style="list-style-type: none"> • Détection facile des doigts ; • Variations de pression détectées ; • Précision importante 	<ul style="list-style-type: none"> • Couche conciliante (silicone) • Ne reconnaît pas les objets

		<ul style="list-style-type: none"> • Difficulté à suivre les mouvements
RDI	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de couche conciliante • Reconnaît les objets • Suit les mouvements, même sans contact 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficulté d'éclairage homogène • Faible contraste des formes lumineuses • Fonctionnement en boîte fermée • Réflexion des illuminateurs IR
DSI	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de couche conciliante • Sensible à la pression • Reconnaît les objets • Suit les mouvements, même sans contact 	<ul style="list-style-type: none"> • Faible contraste des formes lumineuses • Coût plus important

Tableau 1 : Avantages / Inconvénients de l'utilisation des différentes technologies

III.2.2.3 Les technologies électromagnétiques pour interfaces tactiles

Les interactions tactiles font référence à un groupe de techniques d'interaction qui permet à l'utilisateur de contrôler des applications directement aux doigts. Les dispositifs permettant les interactions tactiles utilisent des capteurs d'informations pour détecter la présence de points d'appuis simultanés. Sur ce type de dispositifs, on peut discriminer plusieurs types d'interactions :

- des interactions mono ou multi doigts ;
- les interactions mono ou multi utilisateurs ;
- les interactions utilisant des positions ou des gestes ;
- les interactions utilisant des objets sur la surface de la table.

Pour cela, l'acquisition d'information se base sur l'utilisation de caméras et de techniques de vision par ordinateur. Nous présentons certaines technologies permettant la détection des objets présents sur la table.

Les technologies multitouches les plus utilisées dans le grand public sont aujourd'hui associées à la mobilité, pour les téléphones portables, smartphone et tablet-pc. Deux technologies se partagent le marché de la mobilité : les technologies résistives et capacitives. Les technologies d'écrans tactiles se décomposent toutes en trois parties : un dispositif de pointage (qui reçoit et détermine la position des doigts), une couche logicielle (qui traduit, calibre, interprète) et un dispositif d'affichage. Il existe en réalité plusieurs types de technologies, présentant chacune des avantages et inconvénients propres.

La technologie capacitive est une technologie qui transmet un courant uniforme pour parcourir la surface de l'écran, l'utilisateur en soutire une partie lorsqu'il touche l'écran et on calcule alors le point de contact en fonction de la valeur des courants aux quatre coins de l'écran.

La technologie concurrente est la technologie résistive qui se base sur deux couches conductrices séparées par un isolant. Lorsque l'utilisateur applique une pression, cela crée un contact à un endroit en particulier, ce qui permet la réception de la position du doigt.

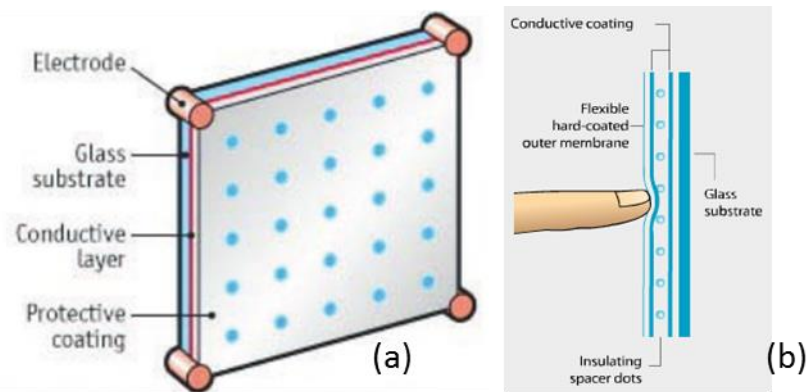


Figure 29 : Différents types de technologies : capacitive (a) et résistive (b)

Concernant les techniques permettant de réaliser une captation multi-doigt, d'autres techniques existent. La plupart utilisent la proximité, l'acoustique, le mouvement, la pression ou une combinaison des techniques. Cependant, des raisons de fonctionnalité, de taille, de prix et de facilité de construction nous ont dirigé vers les technologies multitouche optiques.

III.2.3 Exemples de prototypes

III.2.3.1 TangiSense

TangiSense (Kubicki et al., 2009) est une table interactive utilisant la technologie RFID pour traquer les objets sur la table. C'est un projet qui a, entre autres, été utilisé pour l'étude et l'optimisation des flux de transports.

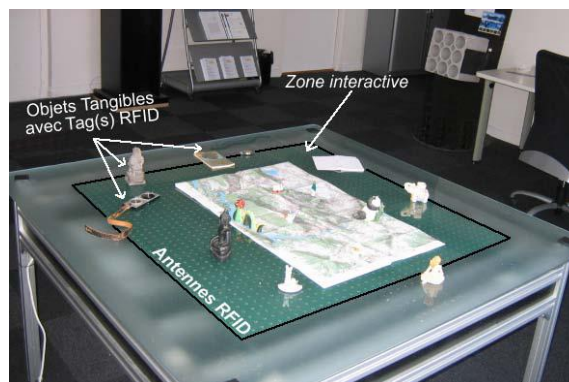


Figure 30 : Prototype TangiSense v.1

Ce type de tables utilise des capteurs RFID, un vidéoprojecteur et des objets physiques pour fonctionner. Il permet la réalisation de simulations sur un espace partagé.

III.2.3.2 Environnement de Réalité Augmentée Collaboratif

La table en réalité augmentée de Grasset (Grasset et al., 2001) a pour but de faire travailler une équipe de personnes en collaboration. Les utilisateurs sont équipés de casques de visualisation semi-transparents et peuvent manipuler un stylo muni d'un capteur magnétique pour déplacer des objets numériques.



Figure 31 : Peinture numérique sur une maison physique (Grasset et al., 2005)

Ce dispositif utilise des casques de réalité augmentée, des stylos magnétiques ainsi que des objets physiques pour fonctionner. Il permet la réalisation de simulations dans un espace partagé.

III.2.3.3 ForceTile

ForceTile (Tabletop Tangible Interface with Vision-based Force Distribution Sensing) (Takehi et al., 2008) utilise des blocs en silicone pour interagir avec le système. Ces blocs sont à la fois un moyen de manipuler le système et un moyen d'accéder à des informations sur une partie spécifique de l'interface. L'amplitude, la direction et la force appliquée permettent d'accéder à différentes informations.



Figure 32 : Interaction avec des blocs de silicone (Takehi et al., 2008)

Dans la figure de gauche, il est par exemple possible de sélectionner une partie de la galaxie affichée au moyen de l'interface tangible. Il sera alors possible d'accéder à des informations spécifiques sur la zone sélectionnée (comme les planètes présentes).

Ces dispositifs utilisent un vidéoprojecteur et différentes caméras, ainsi que des objets en silicone pour fonctionner. Ils permettent la réalisation de simulations sur un espace commun (informations partagées) et l'accès à des informations contextuelles (spatialisées) par l'utilisation d'une interface tangible.

III.2.3.4 Tangible Workbench

La Tangible Workbench (Kienzl et al., 2008) permet la manipulation d'objet virtuel grâce à l'utilisation d'objet physique et la visualisation d'objet numérique dans un environnement 3D numérique. Le dispositif permet de multiples utilisations : architecture, urbanisme, design de produit... Les interfaces tangibles sont identifiées grâce à un marqueur, ce qui permet l'utilisation

d'entités interactionnelles de formes extrêmement variables, n'utilisant pas d'électricité et n'ayant aucune connectique.

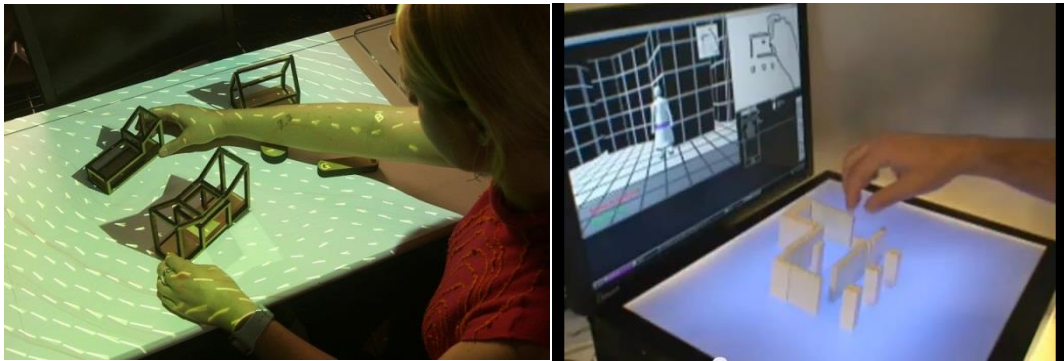


Figure 33 : Tangible Workbench pour concevoir un environnement numérique

III.2.3.5 SLAP (Silicone iLluminated Active Peripherals)

SLAP (Weiss et al., 2009) est un projet de table collaborative utilisant des objets en silicone comme interfaces tangibles et les doigts. À travers ces objets transparents, il est possible de voir ce qui est affiché sur la table : couleurs, lettres, etc...

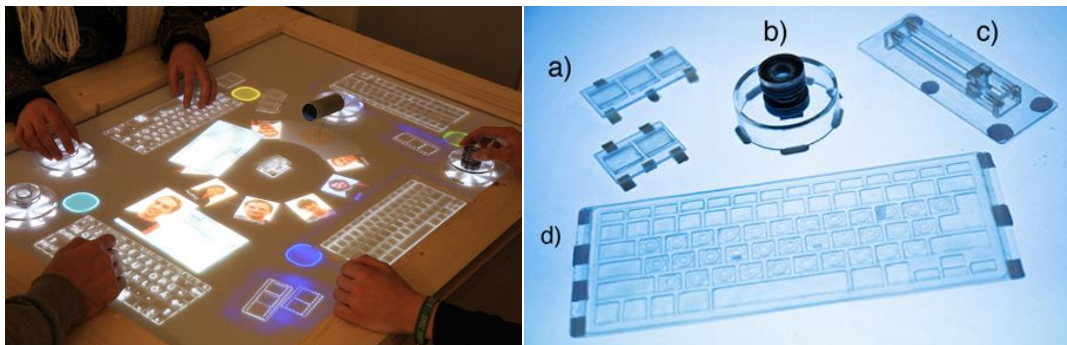


Figure 34. Utilisation de SLAP dans une activité collaborative

Dans les interfaces tangibles qu'ils proposent, nous retrouvons des interfaces d'interaction classique tels que des boutons (Figure 35a), un potentiomètre rotatif (Figure 35b), un potentiomètre rectiligne (Figure 35c) et un clavier (Figure 35d).

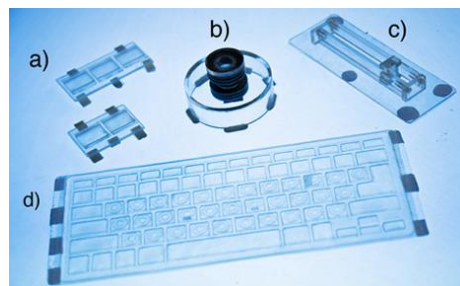


Figure 35 : Interfaces transparentes (Weiss et al., 2009)

Nous trouvons l'utilisation d'objets en silicone transparent intéressante, car elle permet :

- de façonner simplement la forme de l'objet grâce à des moules ;
- de percevoir des informations numériques (par exemple des couleurs) au travers des interfaces transparentes.
- de déformer l'interface tangible pour réaliser des boutons et/ou donner du sens à la pression exercée par l'utilisateur dans son geste.

Ce dispositif utilise un vidéoprojecteur, différentes caméras, ainsi que des objets en silicone pour fonctionner. Il permet la réalisation d'activités collaboratives sur un espace partagé, avec utilisation de dispositifs interactifs génériques facilitant la réalisation de l'activité (par leurs formes).

III.2.4 Solutions logicielles de détection et suivi d'objet

Une fois les informations contextuelles capturées, elles doivent être traitées pour permettre une compréhension de l'information. Une image brute n'est informatiquement pas sémantisée et ne peut être utilisée sous cette forme. Pour l'interpréter, un traitement informatique doit être réalisé. Différentes techniques sont utilisables pour détecter et suivre des objets dans des images. Nous citons ici parmi les solutions les plus classiquement utilisées seulement les solutions sur lesquelles s'est porté notre intérêt.

III.2.4.1 Algorithmes de suivi avec marqueurs

Après traitement du signal numérique pour obtenir une image, un traitement assure les transformations d'images permettant d'aller vers une interprétation des images traitées.

La technique qui a initialement remporté beaucoup de succès par sa simplicité d'utilisation est celle qui est utilisée par ARToolKit (Billinghurst et al., 2002). Elle utilise des motifs facilement discriminables et permet de déterminer la position et l'orientation des motifs détectés.

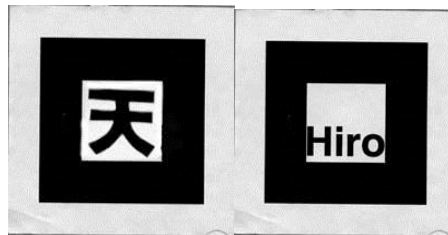


Figure 36 : Motifs trackables pour ARToolKit (Billinghurst et al., 2002)

L'algorithme d'ARToolKit détecte le carré en commençant par ses coins. La détection des coins est faite sur l'image convertie en deux couleurs, noir et blanc (motifs en noir sur blanc). L'algorithme fonctionne avec une phase d'apprentissage où les motifs sont d'abord montrés à la caméra puis permet de détecter et suivre simultanément plusieurs marqueurs en tant qu'objets indépendants (ou bien en les considérant comme rigidement liés entre eux pour améliorer le tracking d'un objet étendu).

D'autres types de motifs sont utilisés actuellement : les codes-barres 2D (QR Code) (figure 37). Ils contiennent des informations relatives à un produit, un objet, un endroit, un service, une personne, etc.



Figure 37 : Lecture de Code QR avec un téléphone portable

Le QR Code (QR Code-Quick Response Code) peut stocker 4 296 caractères alphanumériques et peut ainsi contenir un résumé d'informations sur l'objet concerné, ou un lien vers une page web pour fournir des ressources. La capacité, la flexibilité et le bas prix sont les grands avantages de cette technologie (Rouillard et al., 2008).

Par rapport aux technologies RFID et GPS qui fournissent à l'utilisateur une information automatique (utilisation passive), l'utilisation de codes-barres 2D a besoin de l'interaction explicite de l'utilisateur (utilisation active).

III.2.4.2 Algorithmes de suivi sans marqueur

La technique de suivi sans marqueur (contextual QR code) permet de tracker tous types d'objets, planaires et 3D. Le suivi est généralement fait à partir de l'image passée en niveaux de gris. Une dérivation des algorithmes de base permet de tracker des objets de géométrie complexe.

La problématique du suivi sans marqueurs est décomposable en deux phases. La première est liée à la reconnaissance de l'image, en général à partir d'une comparaison entre des parties de l'image ayant des points d'intérêt et une base de données d'éléments à reconnaître. La seconde phase est celle du suivi à proprement parlé. À partir du moment où l'objet est suivi, un algorithme localise spatialement l'objet et en fonction du résultat du suivi, permet de connaître la nouvelle position de l'objet.

Ces algorithmes de suivi sans marqueurs sont gourmands en mémoire et en puissance de calcul et beaucoup d'efforts sont faits pour leur permettre de fonctionner efficacement sur des processeurs moins puissants comme ceux qui équipent les téléphones mobiles.

Parmi les techniques existantes, une technique proposée par l'EPFL a retenu notre attention : cette technique consiste en la construction d'éléments caractéristiques de différentes représentations d'objets, appelés descripteurs. Ces descripteurs sont un ensemble de points d'intérêt qui regroupés forment une portion d'image. L'organisation et la mémorisation de ces données sont faites selon un arbre de décisions binaires (Lepetit et al., 2006) ou selon une structure à ramifications multiples (Ozuysal et al., 2007). Lors du suivi, l'image courante est traitée par un algorithme visant à extraire des points d'intérêt. Ces points et la portion d'image associée sont ensuite appariés grâce à la structure de décision précédemment construite pour identifier des correspondances avec les signatures d'objets présents dans la base. La liste de correspondances décide de l'identité d'un ou plusieurs objets présents dans l'image pour en extraire une pose approximative.

Une seconde technique, proposée par notre partenaire industrielles Total Immersion a été intégré au projet. Nous détaillons son fonctionnement dans les solutions retenues (IV.2).

III.3 Apports de l'utilisation des environnements de réalité mixte

Nous avons collecté une liste d'avantages théoriques proposés par différents auteurs. Cette liste présente des apports de l'utilisation des environnements mixtes et ubiquitaires, avec plus spécifiquement des apports associés à l'apprentissage et les activités en contexte motivant. Pour structurer cette liste, nous avons distingué trois types d'avantages pour l'expérience des utilisateurs (Anastassova, 2006) (Anastassova, 2007) :

- Améliorations de l'environnement d'apprentissage ;
- Apports pour les objectifs pédagogiques ;
- Apports pour les objectifs motivationnels.

III.3.1 Amélioration de l'environnement d'apprentissage

III.3.1.1 Réduction du fossé

Une des justifications de l'utilisation des environnements de réalité mixte est de réduire le fossé entre monde physique et monde numérique. Ce concept de fossé est théorisé par Norman (Norman, 1986) dans la théorie de l'action sous les termes de « gouffre d'exécution » et de « gouffre d'évaluation ». Le gouffre correspond à la distance entre l'utilisateur et le système informatique. Lorsque l'utilisateur a un but, celui-ci prend la décision d'une action, puis la réalise. Celle-ci est captée par le système, interprétée, ce qui amène à un changement d'état du système. Le gouffre d'exécution est la différence entre le but de l'utilisateur et le changement d'état du système.

En proposant des objets physiques et utilisant une manipulation directe des objets perçus (Schneiderman, 1983), la distance entre buts de l'utilisateur et l'état du système est réduite et la charge cognitive demandée moins importante. Ainsi, l'utilisation d'interface tangible peut rendre l'utilisation de dispositifs interactifs plus simple.

III.3.1.2 Une activité physique et une activité numérique

L'utilisation de dispositifs interactifs avancés en environnement ubiquitaire permet une activité réalisée en même temps dans l'environnement physique et dans l'environnement numérique. En proposant ce type de dispositifs, l'utilisateur peut plus facilement choisir ce qui est déterminant pour lui, et réaliser l'autre tâche comme étant secondaire. Le passage d'une tâche à l'autre est ainsi plus simple et moins conscient.

De nombreux exemples de double activité existent, Charade (Baudel et al., 1993) ou encore Build-IT (Fjeld et al., 1999) sont de ce type et proposent à la fois une activité de communication dans l'environnement physique et une activité de contrôle de dispositifs numériques.

III.3.1.3 Une interaction collective

Les tables interactives fusionnent espace de perception et espace d'action (Norman, 1988) et permettent la réalisation d'activités à plusieurs, que ce soit pour une tâche commune ou pour des tâches indépendantes.

L'utilisation d'objets réels facilite l'usage, par la connaissance des actions des autres et la connaissance de l'état des ressources partagées.

Aussi, une prégnance moins importante des dispositifs informatiques, avec par exemple la non-utilisation d'écran en face à face avec l'utilisateur redonne une importance à l'environnement physique et aux autres personnes présentes.

III.3.1.4 Une action simple et naturelle

L'affordance d'un objet est la capacité d'un objet à suggérer sa propre utilisation. La forme de l'objet a une influence directe sur la manière dont on a envie de le manipuler. Norman (Norman, 1988) propose une corrélation entre le nombre de faces qu'un objet possède, la complexité de sa forme et le type de gestes qu'il est possible de faire avec cet objet (Figure 38).

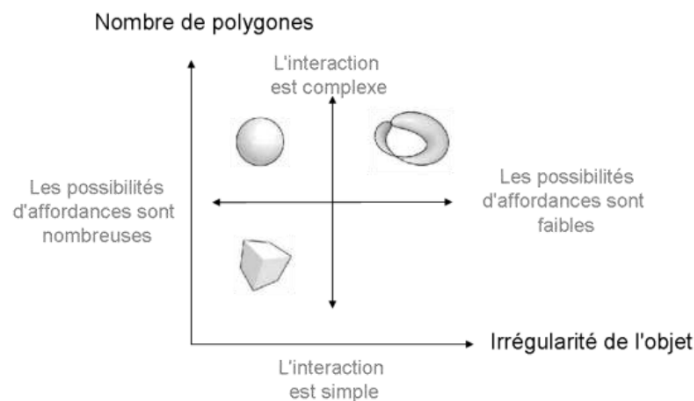


Figure 38 : Rapport entre formes d'un objet et son affordance

Le rapport entre la forme de l'objet et la façon d'interagir avec lui peut se voir de deux façons différentes, mais complémentaires :

- D'une part, la forme peut être induite de l'usage pour laquelle elle est créée. On conçoit l'objet en fonction des propriétés, des besoins de l'action à accomplir.
- D'autre part, on peut choisir une forme pour ses propriétés et/ou sa cosmétique, pour ensuite choisir le corpus gestuel possible en fonction de l'affordance de l'objet.

Les connaissances et les expériences de l'utilisateur sont sollicitées pour faire référence aux propriétés intrinsèques de l'interface tangible (affordance physique) (Gibson, 1978), mais aussi à son utilisation courante (affordance sociale) (Norman, 1988). Le mimétisme associé à cette affordance sociale facilite grandement la prise de décision de son utilisation ainsi que son apprentissage.

De plus, selon une logique assez proche, l'utilisation d'interface naturelle (« utilisant les capacités que nous avons acquises depuis notre naissance ») (Buxton, 2010) facilite l'apprentissage de l'interface.

III.3.1.5 Des retours plus riches sur l'action

Les retours sont des informations données à l'utilisateur pour diminuer sa charge cognitive, faciliter le contrôle des interfaces et améliorer sa prise de décision. Plusieurs types de retours existent :

- Les retours précédant l'action (feedforwards) qui donnent des informations à l'utilisateur sur les possibilités d'actions et sur la manière de les réaliser ;
- les retours en cours d'action permettant un contrôle sur les gestes réalisés par l'utilisateur

- et l'adéquation avec les fonctions voulues ;
- les rétroactions (feedback) en fin d'action ou après l'action, permettant de vérifier et/ou de corriger l'action réalisée.

L'utilisation d'interface tangible permet à l'utilisateur d'interagir physiquement avec l'information, en offrant de nouvelles formes de retours telles que le retour haptique. L'utilisation de retour haptique ou sonore a de nombreux avantages :

- diminuer le temps de réaction ;
- réduire la surcharge visuelle ;
- faciliter la réalisation de nombreuses tâches en parallèle ;
- permettre un meilleur guidage de l'action au moment où celle-ci est faite ;

III.3.1.6 La communication

L'utilisation du geste permet potentiellement de diminuer la charge cognitive. Goldin-Meadow (Goldin-Meadow et al., 2009) montre que l'utilisation d'une certaine gestuelle peut être utile au locuteur indépendamment des effets que cela a sur l'interlocuteur. Il est en effet courant de gesticuler lorsque l'on téléphone (principalement en situation de mobilité). Ceci permet de mieux faire correspondre le sujet de la communication avec l'action liée au sujet. En effet, qu'il s'agisse d'une gestuelle symbolique ou déictique, les gestes utilisés facilitent le processus de production langagière et donc la communication.

III.3.2 Apports pédagogiques

III.3.2.1 Une meilleure compréhension

Stedmon (Stedmon et al., 2001) affirme que l'utilisation simultanée d'objets numériques et d'objets physiques permet une compréhension plus facile du processus de conception. Par exemple proposer un objet réel, comme un moteur, et les notions abstraites qui lui sont associées, comme les processus de conception, facilitent la compréhension des processus de conception du moteur.

III.3.2.2 Une meilleure utilisation des associations pour faciliter l'apprentissage

Une métaphore permet l'association de deux mots, deux objets ou deux situations qui possèdent des caractéristiques communes. Pédagogiquement, utiliser des connaissances/compétences préalablement apprises pour permettre l'apprentissage de connaissances/compétences d'un domaine nouveau est un procédé couramment utilisé. L'utilisation de la métaphore du réseau de transport pour expliquer comment fonctionnent les réseaux de télécommunications est courante dans les cours de réseaux pour faciliter la compréhension des nouveaux concepts et leur mémorisation.

En permettant l'association d'objets physiques et numériques, les environnements de réalité mixte autorisent d'autant plus de métaphores.

III.3.2.3 L'apprentissage de gestes

L'utilisation d'objets physiques et/ou de gestes dans des environnements simulés facilite l'apprentissage de gestes techniques. La visualisation sur écran, la multiplication de capteurs qui suivent le geste, ou la création de bras robotisés sont autant de moyens apportés par les environnements en réalité mixtes pour permettre l'exercice du geste ou de sa correction. Des

applications ont déjà été développées dans le domaine de la chirurgie (Marescaux, 2005) ou dans l'industrie par exemple pour du soudage (Park et al., 2007).

III.3.2.4 L'apprentissage de procédures

L'apprentissage de procédures est aussi étudié, par exemple de manière à assister la réalisation de tâches à exécuter selon certaines règles et selon un certain ordre. Comme dans les travaux de Champalle (Champalle et al., 2006), les besoins d'information, de formation, d'assistance, d'aide à la maintenance et de dépannage dans des contextes individuels, collectifs, industriels ou grand public sont donc pris en compte. Ce type d'apprentissage utilise l'apprentissage actif et situé comme manière de réaliser l'activité sous-jacente au processus, son apprentissage et sa mémorisation.

III.3.2.5 La mémorisation des connaissances

L'utilisation de gestes permet d'augmenter la capacité de mémorisation. Cook et ses collaborateurs (Cook et al., 2007) constatent que les enfants qui gesticulent lors de problèmes mathématiques sont jusqu'à trois fois plus aptes à se rappeler ce qu'ils ont appris.

Il existe donc un lien de cause à effet entre l'utilisation d'une gestuelle et le processus de mémorisation. L'utilisation d'interface tangible, mêlant objet physique et numérique, impose la réalisation de gestuelles. Ainsi, dans le cas où les gestes sont en accord avec l'apprentissage, la manipulation des objets améliore l'efficacité du jeu pédagogique.

III.3.3 Apports motivationnels

Fenouillet (Fenouillet et al., 2009) met en avant quatre facteurs clés dans la conception d'un jeu pédagogique pouvant avoir des incidences sur la motivation de l'apprenant : le challenge, la curiosité, le contrôle et l'imaginaire. Chacun de ces points peut être amélioré en environnement mixte.

III.3.3.1 Le challenge

Par rapport à un système physique, les environnements de réalité mixte ont l'avantage du numérique pour adapter plus facilement le niveau de difficulté au joueur. En réalité mixte, l'affichage des rétroactions (feedback) sur les performances est plus aisé, ce qui contribue à maintenir le challenge (Fenouillet et al., 2009).

III.3.3.2 La curiosité

Berlyne (Berlyne, 1960) met en avant deux types de curiosité : la curiosité sensorielle et la curiosité cognitive. Dans les deux cas, la curiosité peut être stimulée par la variété du jeu pédagogique, la nouveauté et le caractère surprenant des stimuli (sensoriels et/ou cognitifs).

Du fait du caractère innovant des technologies proposées, l'utilisation de réalité mixte est, dans un premier temps, catalyseur de motivation. Dès que la technologie sera répandue, cette facette de motivation disparaîtra. Plus spécifiquement, l'utilisation de nouvelles modalités d'interaction est un facteur de motivations sensorielles et cognitives (Zhong et al., 2003).

III.3.3.3 Le contrôle

Le contrôle est présent dans la plupart des théories sur la motivation (Fenouillet, 2009b). Peterson (Peterson et al., 1993) introduit le concept de contingence du comportement pour établir un

lien entre la motivation de l'individu à réaliser une tâche donnée et l'impression de contrôle qu'à l'utilisateur sur ses propres actions. La position des interfaces tangibles rappelle quelles actions ont été réalisées précédemment ainsi que leurs résultats. En cela, l'apprenant peut avoir une plus grande sensation de contrôle, et donc de motivation.

III.3.3.4 L'immersion

Les environnements de réalité mixte permettent de créer un univers imaginaire riche, basé à la fois sur un environnement physique, social et numérique, ce qui motive l'apprenant au début du jeu (Asgari et al., 2004). L'immersion est l'exposition d'un utilisateur à un environnement imaginaire (virtuel) au moyen de dispositifs occultant une partie ou l'intégralité du monde réel, pour afficher en lieu et place un monde imaginaire (Burckhardt, 2003). Si cette définition est à l'origine utilisée en réalité virtuelle, elle conserve son sens dans un contexte mixte.

III.4 Exemples d'environnements mixtes

Les technologies supportant les environnements mixtes sont aujourd'hui peu matures et les usages pas encore stabilisés. Cependant, certains usages ont été proposés dans différents secteurs d'activités (Antle, 2007) :

- la défense ;
- la médecine ;
- l'industrie ;
- les jeux ;
- l'enseignement, la formation et l'apprentissage ;
- l'aide à la navigation dans le transport ;
- L'aide aux activités de maintenance ;
- Les visites de sites, de musées ou d'exposition ;
- La bureautique ;
- L'enseignement, la formation et l'apprentissage ;
- Les livres ;
- L'aide à la conception, en particulier l'architecture et l'urbanisme.

La liste présente ici n'est en aucun cas exhaustive, et de nombreux autres cas existent. Cependant, cela permet d'avoir une première vision des usages courants des environnements de réalité mixte.

III.4.1 Bureautique

III.4.1.1 DigitalDesk

Le DigitalDesk (Wellner, 1993) est basé sur l'utilisation d'un bureau physique comme un bureau virtuel, en utilisant un projecteur et une caméra. Il utilise le flux vidéo transmis par la caméra pour permettre une reconnaissance automatique de la direction pointée ainsi que des documents posés sur le bureau. Deux applications ont été expérimentées sur ce système : Calculator pour une calculatrice numérique sur le bureau et PaperPaint pour une utilisation mixte de dessins physiques et des dessins numériques.

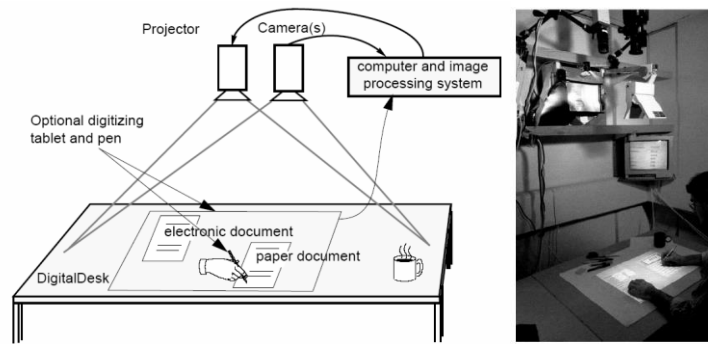


Figure 39 : Schéma du DigitalDesk (a) et son utilisation (b)

Une version collaborative existe : le Double DigitalDesk (Wellner, 1993) qui reprend les principes du premier DigitalDesk en ajoutant la possibilité de collaboration à distance, grâce au partage de documents physiques entre plusieurs utilisateurs : lorsqu'un utilisateur met un document sur son bureau, celui-ci s'affiche sur les autres bureaux.

Ce dispositif utilise une caméra, un vidéoprojecteur, un écran et un écran de projection pour sa version simple. Ce dispositif permet la réalisation d'activités numériques utilisant des gestes naturels et la réalisation d'activités sur un espace de travail commun pour la seconde version (collaborative).

III.4.1.2 LivePaper

Le système LivePaper (Robinson et al., 2001) est un environnement qui augmente des documents réels avec projection d'informations. Nous pouvons citer comme application collaborative dans le domaine de la bureautique un exemple dans lequel un des utilisateurs interagit par l'intermédiaire d'une table interactive pendant que d'autres utilisateurs sont à distance et disposent d'ordinateurs classiques. Les utilisateurs possédant des interfaces classiques manipulent les objets présents et peuvent dessiner avec la souris par exemple. L'utilisateur qui a la table visualise ce que les autres modifient sur sa table avec projection du nouveau contenu et peut à son tour modifier ces mêmes éléments en utilisant ces propres techniques d'interaction.



Figure 40 : Utilisation de LivePaper (Robinson et al., 2001)

Le dispositif utilise une table interactive et des ordinateurs munis de souris/clavier/écran. L'environnement permet la visualisation/modification simultanée de documents partagés dans un espace commun. Le ou les utilisateurs présents autour de la table partagent l'information et ont une possibilité de communication verbale.

III.4.1.3 Navicam

Navicam est proposée par Rekimoto (Rekimoto et al., 1995) pour aider l'utilisateur à interagir dans le monde physique. Il perçoit à travers un casque de visualisation semi-transparent, le Navicam, des informations numériques ajoutées à la scène dans le monde physique. En plus du casque, le dispositif est muni d'une caméra pour détecter des codes-barres.

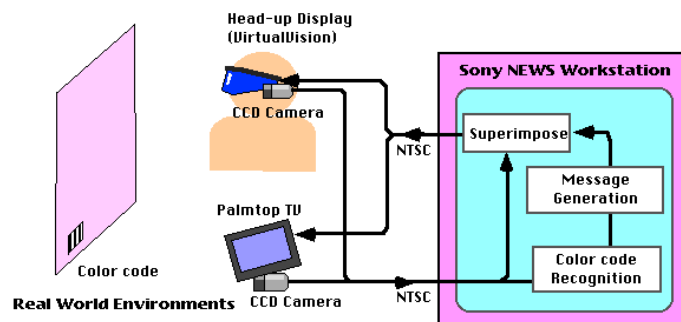


Figure 41. Architecture du système Navicam

Le dispositif utilise un écran porté, une caméra et des codes-barres physiques, et permet la visualisation personnelle d'informations supplémentaires sur les objets physiques.

III.4.1.4 Paper-based Audio Notebook

Proposé par Stifelman (Stifelman, 1996), le système Paper-based Audio Notebook permet à un utilisateur de synchroniser ses prises de note numériques (audio) et physiques. La synchronisation se base sur le rythme d'écriture du protagoniste et sur les moments où celui-ci tourne les pages de son carnet. L'utilisation d'un stylo « numérique » permet en parallèle l'indexation implicite pour l'enregistrement, ce qui permet une recherche rapide.

Le dispositif utilise un stylo « virtuel » (mais physique) et un système de micro/Haut-parleur. Il permet la corrélation entre un document visuel et un document auditif et peut ainsi permettre son contrôle et son écoute par l'une ou l'autre des possibilités modales.

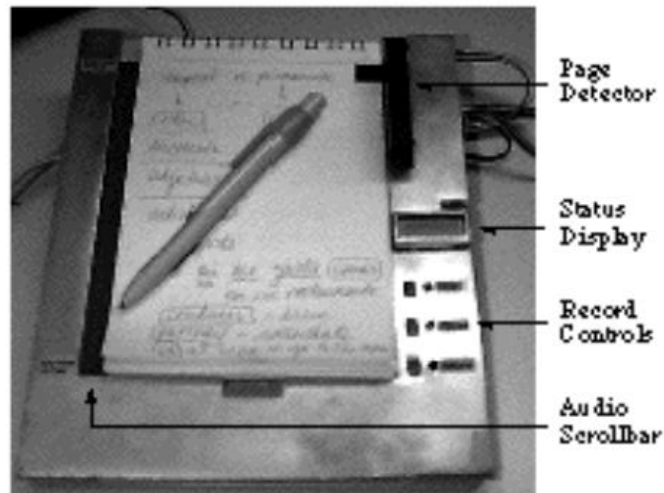


Figure 42 : Prototype du Paper-Based Audio Book (Stifelman, 1996)

III.4.1.5 Wordtab

Chalon et David (Chalon et al., 2005b) proposent dans Wordtab, un logiciel d'édition de texte collaboratif, une aide à la visualisation collaborative de textes longs. En effet, lors du travail classique il est difficile pour plus de deux personnes de voir en même temps ce qui se passe sur l'écran et il est difficile de faire apparaître lisiblement sur un écran un grand nombre d'éléments, ce qui empêche d'avoir une vue d'ensemble du document.

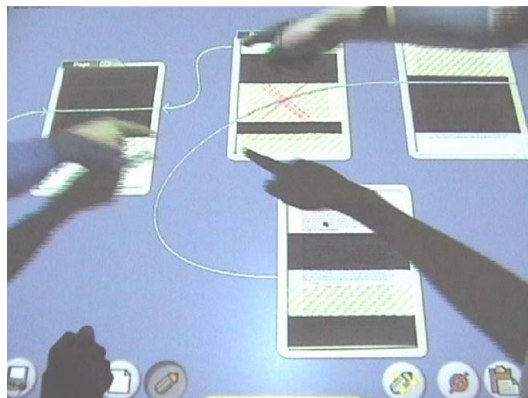


Figure 43 : Exemple d'utilisation de WordTab avec trois utilisateurs

Le prototype utilise une table interactive (vidéoprojecteur et caméra) et permet la réalisation partagée d'activités, avec conscience des actions des autres, une surface de visualisation plus grande, une possibilité de communication entre utilisateurs et l'utilisation de gestes naturels.

III.4.2 Livre

III.4.2.1 Souvenir du monde des montagnes

Ce livre proposé par Scherrer (Scherrer et al., 2009) permet une augmentation numérique des objets du livre, visibles sur l'écran de l'ordinateur. Le livre contient des illustrations suivies par une

caméra contenue dans la lampe et l'écran affiche les illustrations par-dessus l'illustration originale.

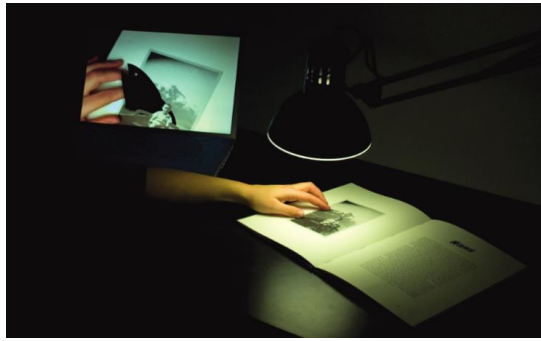


Figure 44 : Souvenir du monde des montagnes

Ce prototype propose l'utilisation d'un livre (objet physique), d'une caméra et d'un écran pour la visualisation d'objets mixtes.

III.4.2.2 The mixed reality Book

Le livre de réalité mixte (Grasset et al., 2007) propose de rentrer dans un environnement numérique à partir des illustrations du livre et de lunettes (tenues à la main). Si plusieurs personnes regardent le livre en même temps, les utilisateurs ne verront pas les mêmes entités et/ou n'auront pas la même vision de ces objets. Autour du livre, des interfaces tangibles permettent aussi d'interagir avec des éléments virtuels.

Ce prototype propose l'utilisation d'un livre, de lunettes et de caméras pour la visualisation d'objets mixtes et la manipulation collective d'éléments mixtes.

III.4.3 Conception

III.4.3.1 ARTHUR (Augmented Round Table for Architecture and Urban Planning)

Arthur (Granum et al., 2003) permet la modélisation d'une ville grâce à l'utilisation d'un casque et de caméras. L'interaction avec les objets numériques est faite à l'aide d'objets physiques associés.



Figure 45 : Manipulation d'objets numériques partagés (Granum et al., 2003)

Le prototype utilise des casques optiques, des caméras et des objets physiques servant d'outils pour manipuler des objets numériques. Il permet la manipulation d'objets partagés à partir de gestes plus naturels.

III.4.3.2 Build-IT : Tangible Interaction for collaborative Design

Build-IT (Fjeld et al., 2002) permet à un groupe de coopérer pour concevoir l'aménagement de bâtiments. Les utilisateurs interagissent autour d'une table à l'aide de briques (physiques) pour sélectionner et manipuler des entités projetées sur la table. Plusieurs briques peuvent être utilisées simultanément ce qui permet de travailler à plusieurs, mais aussi d'avoir des interactions à deux mains.

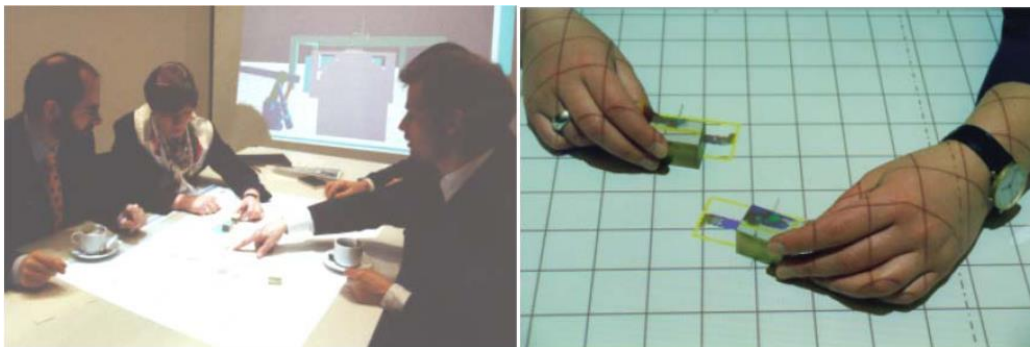


Figure 46 : Vue du dispositif Build-IT (Fjeld et al., 2002) et d'une interaction avec deux briques

Ce dispositif utilise deux vidéoprojecteurs, une caméra et des briques physiques pour fonctionner. Il permet la réalisation d'une activité avec utilisation d'un espace commun de travail, d'un espace de communication et d'utilisation d'objets mixtes.

III.4.3.3 SeamlessDesign

SeamlessDesign (Kiyokawa et al., 1999) est un environnement collaboratif pour le prototypage rapide d'objets 3D. Les deux utilisateurs portent des casques semi-transparents munis d'un système de localisation du mouvement de la tête. Chaque utilisateur peut, avec ses gants, interagir avec le système.



Figure 47 : Annotations, objets numériques et inscriptions physiques (Kiyokawa et al., 1999)

Le prototype utilise pour chaque utilisateur un dispositif porté (casque semi-transparent) et un gant « numérique ». Il permet la manipulation et la visualisation d'objets mixtes dans un environnement mixte, commun aux utilisateurs.

III.4.4 Transport

III.4.4.1 Wikidrive

Le GPS de voiture aide les utilisateurs à se localiser sur une carte en précisant leurs positions en temps réel. Certains systèmes, comme Wikidrive, proposent d'ajouter les informations de navigation sur l'image acquise de l'environnement physique.



Figure 48 : Visualisation du trajet sur WikiDrive

Le dispositif utilise un GPS, un écran et une caméra. Il permet d'afficher des informations numériques sur d'autres informations issues de l'environnement.

III.4.4.2 MetroParis

Méto Paris est une application proposant les cartes officielles du métro, du RER et des bus de Paris. Elle guide l'utilisateur dans le métro parisien grâce à des cartes, un système de recherche du meilleur itinéraire et une géolocalisation des stations de métro les plus proches de la position.

Le dispositif utilise un écran de visualisation mobile, une caméra et un GPS et permet d'ajouter des informations numériques sur l'environnement physique, perçues grâce à l'écran du téléphone.



Figure 49 : Métro Paris : Direction des différentes bouches de métro

III.4.4.3 TableGate II

TableGate II (Chalon et al., 2005b) aide à la gestion de crises et la supervision d'interventions de pompiers. Il s'agit d'un logiciel de gestion des ressources d'une caserne de pompiers. Cette application permet l'acquisition des données concernant les situations de crises (lieu, ampleur, nature...), l'acquisition des informations telles que la météo, la température et fournit le support pour la communication entre le central et les pompiers présents sur le terrain, la transmission du lieu de destination aux véhicules associés. Le système est basé sur une table physique, horizontale, tactile, un vidéoprojecteur, des miniatures d'objets physiques (camions de pompiers, ambulances, ...) portant des codes (tags) pour détecter leurs localisations grâce à une caméra fixée à côté du vidéoprojecteur.



Figure 50 : Prototype de gestion de crise TableGate II

Le prototype est basé sur une table interactive utilisant vidéoprojecteur et caméra afin d'afficher une image projetée et détecter la localisation des objets réels. L'utilisation d'interface tangible est aussi possible pour manipuler ces objets. Le prototype permet une interaction collective utilisant conjointement des objets physiques et numériques.

III.4.5 Santé

III.4.5.1 Reality Augmentation for Medical Procedures

Reality Augmentation for Medical Procedures (RAMP) (Sauer, 2002) permet à l'utilisateur de percevoir des images médicales superposées à celle du patient. Les images apparaissent à l'endroit des structures anatomiques. Des lunettes de réalité augmentée portées par le chirurgien fournissent une vue augmentée stéréoscopique.

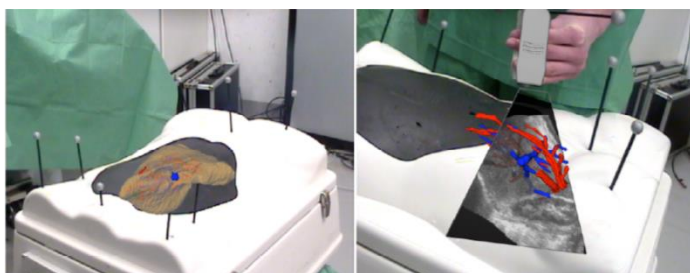


Figure 51 : Ramp (Sauer, 2002)

Le prototype utilise des lunettes de réalité augmentée pour permettre la visualisation d'informations numériques contextualisées sur les objets physiques.

III.4.5.2 Virtual Mirror Box

Virtual Mirror Box (O'Neill et al., 2003) a été mis en place pour aider le traitement des douleurs aux membres fantômes, maladie dont souffrent de nombreux amputés. Ce système est une version améliorée d'une version purement physique qui utilise une boîte dans laquelle les patients mettent le bras intact. Grâce à un miroir au milieu du dispositif, les patients ont l'impression d'avoir deux bras intacts faisant les mêmes mouvements.

Avec Virtual Mirror Box, le miroir est remplacé par un écran qui affiche un bras virtuel. Ce dispositif permet de déformer le modèle du bras virtuel pour s'adapter aux pathologies ressenties par le patient (un bras plus court, un bras plus long...).



Figure 52 : Utilisation du miroir virtuel

Le prototype utilise un écran et permet l'affichage d'un bras virtuel (information numérique) en lieu et place du bras amputé.

III.4.6 Jeu

III.4.6.1 Rasende Roboter

Le jeu proposé par Demeure (Demeure et al., 2002) est un « jeu de plate-forme » utilisant une carte sur laquelle des robots se déplacent. L'objectif est de trouver le plus court chemin entre un robot et son objectif. Dans la version augmentée, l'utilisation des différents robots reste dans l'environnement physique, mais les inscriptions sur le plateau deviennent numériques pour permettre de paramétrer de nombreuses options. L'ordinateur est au courant de la position de chaque robot, ce qui permet de pouvoir demander le chemin optimum (utile en phase d'apprentissage) et de jouer contre l'entité numérique. Le dispositif utilise uniquement un vidéoprojecteur et une caméra pour permettre le déroulement du jeu.

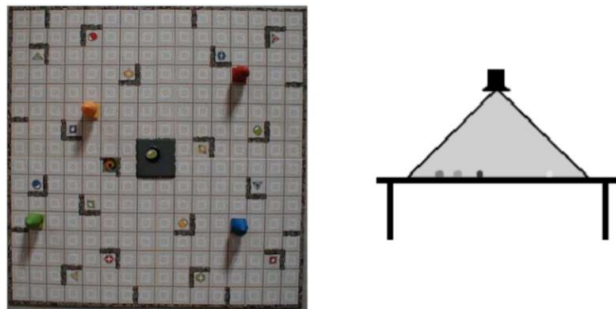


Figure 53 : Version originale et mixte de Rasende Roboter (Demeure et al., 2002)

Le prototype utilise un vidéoprojecteur et une caméra, et permet la visualisation et la manipulation d'objets mixtes tout en améliorant la phase d'apprentissage du jeu, paramétrer le challenge du jeu et augmenter la curiosité.

III.4.6.2 ARQuake

ARQuake (Piersky et al., 2002) est un jeu basé sur le jeu vidéo Quake. Il se classe dans la catégorie des jeux de tir à la première personne (first person shoot- ce qui correspond à une vue perçue par les yeux de l'avatar numérique). Ce jeu pratiqué à l'extérieur utilise des lunettes de réalité augmentée, une arme et un ordinateur mobile. Le jeu en réalité augmentée utilise le moteur du jeu original Quake, modifié pour intégrer les nouvelles interactions. Ainsi, quand l'utilisateur se déplace dans le monde réel, des mouvements sont effectués dans le monde numérique et la construction de l'environnement numérique tient compte de la topologie du monde physique.



Figure 54 : Joueur d'ARQuake en action (Piersky et al., 2002)

Ce dispositif utilise un casque de réalité augmentée, un objet possédant une gâchette et l'environnement physique. Il permet la perception et le contrôle d'objets mixtes, des gestes plus naturels et permet une immersion et un contrôle plus importants.

III.4.6.3 InceTable

InceTable (Leitner, 2008) est un jeu en réalité mixte inspirée de « *L'incroyable machine* ». Le jeu consiste à créer une machine à partir de divers éléments (engrenages, fusées, souris en cage, chats, balances, dynamites, boules de bowling, ciseaux...). Le prototype utilise de nombreuses technologies pour permettre une action physique sur le modèle numérique, mais aussi des modifications du monde physique commandées par le modèle numérique. Pour cela, il utilise des capteurs à base de caméras (dont certaines captant la profondeur) et différents marqueurs, mais aussi des objets physiques appelés « Portal » servant d'actionneurs bidirectionnels. Dans le cadre de ce jeu, il s'agit d'un petit cylindre pouvant recevoir un signal optique pour déclencher une action mécanique (faisant tomber les dominos réels). À l'inverse Portal détecte la chute d'un domino (grâce à une rupture de faisceau optique) et envoie un signal lumineux à une caméra placée sous la table (déclenchant alors la chute des dominos virtuels).



Figure 55 : Mise en place de l'InceTable

Le prototype utilise un vidéoprojecteur, différentes caméras et des objets physiques. Il permet une perception collective et simultanée des objets physiques, numériques et mixtes, une action plus naturelle et des retours sur l'action plus importante. Le contrôle et la curiosité sont améliorés par l'utilisation de l'environnement mixte.

III.4.6.4 Levelhead

Levelhead (Oliver, 2008) est un jeu de mémoire spatiale. Le joueur place des cubes (tagués) en face de sa webcam. L'ordinateur connecté permet une simulation dans laquelle on fait évoluer un personnage. Le but est de faire sortir le personnage le plus rapidement possible. Pour faire se déplacer le personnage, l'utilisateur oriente le cube de manière à ce que celui-ci se penche dans la direction voulue.



Figure 56 : Deux Levelhead (Oliver, 2008)

Le prototype utilise une caméra, un écran et des objets physiques. Il permet une action naturelle et une richesse d'action de contrôle plus importante et augmente la curiosité.

III.4.7 Enseignement et Apprentissage contextuels

Les environnements de réalité mixte peuvent être avantageusement utilisés dans les dispositifs de formation, que ce soit lors de la communication d'information par le professeur (apprentissage frontal) ou l'accès à la connaissance enrichie par les données contextuelles (apprentissage situé).

III.4.7.1 Chameleon

Chameleon (Fitzmaurice, 1993) utilise un PDA comme une loupe affichant des informations spécifiques sur les objets pointés. Plusieurs applications ont été envisagées :

- une carte active, lorsqu'on est proche d'une carte murale de grande dimension, afin d'obtenir des informations sur la ville qui se trouve sur la carte ;
- une bibliothèque augmentée pour avoir des informations sur un livre lorsque l'on se place à côté de celui-ci ;



Figure 57 : Utilisation de Chameleon (Fitzmaurice, 1993)

Ce prototype utilise un dispositif mobile, permettant de sélectionner un objet ou une position particulière dans l'environnement physique. Il procure à l'utilisateur des informations supplémentaires sur l'objet/zone de l'objet physique sélectionné.

III.4.7.2 Charade

Charade (Baudel et al., 1993) permet le contrôle d'un document de présentation par une gestuelle adaptée et un gant numérique pour interagir avec le support de présentation. Un effort notable a été fait au niveau du choix de la gestuelle pour distinguer les gestes faits naturellement et ceux intervenant dans les commandes gestuelles : l'objectif est de limiter le risque d'effet Midas (le fait d'interpréter certains gestes comme commandes même quand on le veut pas).

Ce prototype utilise simultanément un gant de donnée, un vidéoprojecteur et un écran de projection afin que tout le monde puisse accéder aux informations.

Il permet la réalisation d'une activité collective où l'utilisateur principal réalise une double activité : une activité de communication comme activité principale, et le contrôle à distance d'un dispositif de visualisation comme activité secondaire. L'utilisation d'un gant diminue la séparation entre les apprenants et le professeur, par l'utilisation de technique d'interaction simple et la non-présence d'une tâche orientée vers un écran pour le professeur.

III.4.7.3 Aide à la formation à la maintenance

Le prototype proposé par (Christian et al., 2007) utilise un téléphone mobile pour faire de la formation située. Il cible une partie de la formation de maintenance, faite sur l'avion et sans instructeurs. Chaque apprenant peut accéder à une base de connaissances en utilisant la plateforme de e-Learning Moodle. En visualisant une pièce sur l'avion et/ou sur la documentation, il verra ainsi un modèle virtuel 3D de la même pièce sur son écran.



Figure 58 : Aide à la formation à la maintenance

Le prototype utilise un téléphone portable (équipé d'un écran et d'une caméra) afin d'ajouter des informations numériques représentées en trois dimensions. Il crée l'utilisation conjointe des objets physiques et informations numériques et permet ainsi une meilleure mémorisation par association.

III.4.7.4 Formation en entreprise

Ott (Ott et al., 2007) propose un système pour aider à la formation en entreprise. Il utilise la simulation visuelle affichée dans les lunettes, une simulation de poids et de retour de force à l'aide de gants ; le tracking de gestes se fait sur les gants avec un capteur pour la position et orientation des mains et avec une webcam (et ARToolKit). Le système a été testé sur le montage d'une table.



Figure 59 : Poste de travail augmenté

Le prototype utilise un gant à retour de force, des lunettes de réalité virtuelle et une webcam. Il permet la visualisation conjointe d'objets réels et numériques, facilite l'apprentissage de procédures et permet de meilleures associations.

III.4.7.5 FlowBlocks et System Blocks

FlowBlocks et System Block (Zuckerman et al., 2005) sont des environnements d'apprentissage pour enfants basés sur la manipulation de blocs. Ces interfaces tangibles permettent d'aborder des concepts abstraits de mathématiques ou de physiques.

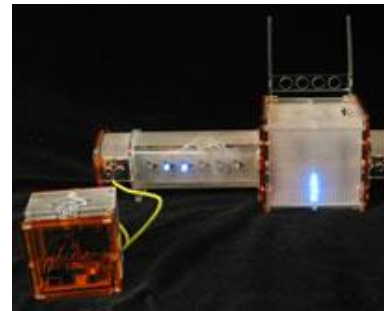
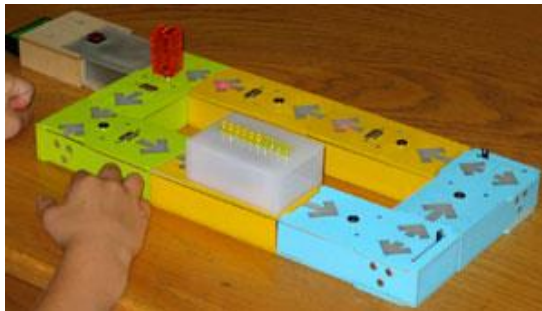


Figure 60 : FlowBlocks (gauche) and System Blocks (droite)

Le prototype est réalisé à partir de microcontrôleurs, LED et d'un haut-parleur. Il est utilisé pour encourager l'apprentissage de la causalité par l'utilisation de concepts abstraits rendus perceptibles et manipulables par l'utilisation d'interfaces tangibles.

III.4.7.6 Mixed-reality class room

Mixed-reality class room (Liu et al., 2007) propose deux systèmes en réalité mixte à des enfants de 11-12 ans : un sur le système solaire, un autre sur les plantes. Dans les deux cas, les enfants portent des lunettes de réalité augmentée et peuvent interagir avec les objets numériques à l'aide d'interfaces tangibles comme les tasses. Les systèmes proposés servent en complément de la formation traditionnelle.

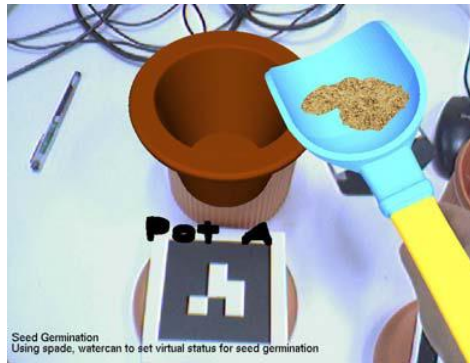


Figure 61 : MR classroom : Ajout de terre numérique dans le pot de fleurs numérique

Les auteurs ont proposé une évaluation de ces systèmes par les enfants. Les retours sont globalement positifs (enthousiasme, utilité, intention d'utilisation) malgré un certain manque d'utilisabilité du système qui pose problème.

Le prototype utilise un casque de réalité augmentée et une webcam, et permet la visualisation conjointe d'information numérique et physique.

III.4.7.7 WorldBeat

WorldBeat (Borchers, 1997) est un logiciel d'apprentissage du rythme (musical). Pour ce faire, le système est composé d'un écran, donnant les instructions et un retour sur les actions réalisées et de bâtons infrarouges, pour battre le rythme.



Figure 62 : Utilisation de WorldBeat (Borchers, 1997)

WorldBeat utilise un écran, une webcam et des bâtons (objets physiques) pour permettre l'apprentissage de gestes et de rythmiques.

III.4.7.8 HMTD

HMTD (Chalon et al., 2006) est une application d'aide et d'assistance en situation mobile. HMTD aide le technicien lors d'une intervention répondant aux besoins de maintenance sensible et obligatoire nécessitant un respect et un contrôle strict des procédures. Dès l'arrivée de l'intervenant sur le lieu de l'intervention, il récupère les caractéristiques de la machine concernée grâce à un tag RFID. Grâce à un casque de réalité augmentée, il reçoit une liste

d'actions de maintenance prescrites, les réalise, puis synchronise les actions effectuées sur la machine avec celles stockées sur le tag RFID.

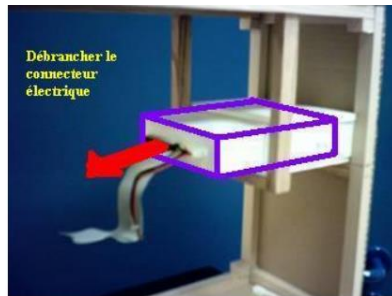


Figure 63 : Vision de l'opérateur utilisant HMTD (Chalon et al., 2006)

La capture du mouvement se fait par mesure électromagnétique, sensible à la présence de métaux. Leur présence fausse fortement l'estimation de la position et il est ainsi impossible de l'utiliser dans un environnement métallique.

Le prototype utilise un casque de réalité augmentée intégrant deux webcams, un gant et un lecteur RFID. Il guide la réalisation de procédures et facilite leur mémorisation grâce à la perception conjointe d'éléments physiques et numériques.

III.4.8 Jeu pédagogique

III.4.8.1 AR Kanji

AR Kanji (Wagner et al., 2003) utilise des PDA pour enseigner la signification de kanjis (symboles japonais). Les joueurs étendent sur la table 10 cartes imprimées des deux côtés. Le PDA affiche l'image associée au vocabulaire demandé. Le joueur choisit et retourne une carte. Le PDA affiche alors l'objet associé à la carte. Si les cartes correspondent aux mots demandés, le joueur continue. Sinon, c'est au 2e joueur d'intervenir.



Figure 64 : AR Kanji

Le prototype se base sur l'utilisation d'un PDA et d'une caméra. Il permet l'utilisation conjointe d'objet physique et numérique, facilite les associations et stimule la curiosité de l'apprenant.

III.4.8.2 Eduventure Game

Eduventure Game (Ferdinand et al., 2005) est un jeu en deux parties : une uniquement sur ordinateur et une en réalité augmentée (sur site). Dans la première partie, le joueur incarne un

personnage dans un jeu d'aventure ; qui offre une fin peu satisfaisante. Le joueur va ensuite sur le lieu réel de l'aventure et est alors guidé jusqu'à la véritable fin de l'histoire.



Figure 65 : Eduventure Game (Ferdinand et al., 2005)

Le prototype utilise un PC classique, une tablette, une caméra et des marqueurs. Il permet la réalisation d'activités mixtes. Une richesse d'actions facilite la perception d'éléments physiques et numériques, stimule la curiosité et l'immersion et augmente les caractéristiques motivationnelles.

III.4.8.3 Zoo scene investigators

Zoo scene investigators (Perry et al., 2008) est un jeu pour des élèves entre 10 et 14 ans, dans un zoo, avec comme support un téléphone muni d'un GPS. Les élèves doivent effectuer une enquête en allant récolter des indices, en interviewant des personnes ou en récupérant des informations directement sur les animaux. Cette enquête présente comme contenu éducatif le fonctionnement de la chaîne alimentaire et la différence entre cellules animales et végétales.



Figure 66 : Des enfants enquêtant sur l'animal disparu (Perry et al., 2008)

Le prototype utilise un téléphone muni d'un GPS et d'une caméra. Il permet la réalisation simultanée d'activités physiques et numériques, un accès à des informations numériques contextualisées et facilite l'immersion et la curiosité des apprenants.

III.4.8.4 Relieving the revolution

Relieving the revolution (Schrier, 2006) est un jeu permettant l'utilisation des « *compétences du 21e siècle* » (management, communication, créativité...). Le jeu cherche à faire revivre la bataille de Lexington du 19 avril 1775 aux élèves. Pour cela, les apprenants sont physiquement sur le site de la bataille et doivent chercher des indices donnés à des points d'intérêt dans le but de découvrir qui a tiré le premier.



Figure 67 : Relieving the revolution

Dans la Figure 67 on aperçoit deux participantes qui vont chercher les informations nécessaires pour pouvoir progresser dans le jeu (a), un plan proposé des points significatifs (b) et une manière de proposer des intrigues (c).

Le prototype utilise un PDA muni d'une caméra et de différents QR Code pour permettre la contextualisation. Il permet une activité mixant collaboration et recherche dans le monde physique d'éléments et visualisation d'objets mixtes. Il suscite curiosité et immersion chez l'apprenant.

III.5 Synthèse

Les environnements de réalité mixte et de l'informatique ubiquitaire sont utilisés dans l'ensemble des exemples écrits en III.4. Nous proposons un tableau récapitulatif (Tableau 3) montrant la corrélation entre **l'ensemble des exemples** (§ III.4), les **dispositifs technologiques** (§ III.2) utilisés et les **apports** (§III.3) de l'utilisation des environnements mixtes. Ce tableau reprend les caractéristiques principales de chacun des aspects étudié et met en corrélation ces caractéristiques.

Concernant les **dispositifs** présents, nous observons une large diversité des capteurs utilisés et un assemblage de technologies. Cette disparité impose, pour permettre la construction d'un environnement d'exécution générique de jeux pédagogiques, une méthode qui rende la prise en compte des interactions et de l'environnement physique indépendante des plates-formes ainsi que des langages et technologies sous-jacentes.

Concernant les **apports** des environnements mixtes, ceux-ci permettent l'ajout d'informations contextualisées, une interaction plus naturelle et un espace de travail en groupe plus adapté. Ils permettent aussi des associations entre entités conceptuelles et entités physiques, facilitant compréhension et mémorisation, un engagement et une curiosité accrues des apprenants. À noter que dans ce tableau récapitulatif, les apports spécifiquement liés à la pédagogie et au jeu ne concernent que les jeux, les dispositifs d'apprentissage et les jeux d'apprentissage. Il faut noter que l'apprentissage de gestes techniques est une voie encore peu exploitée.

Concernant les **exemples** cités, nous observons des activités très variées dans des domaines d'activités encore plus variés. L'existence même de ces exemples montre que la numérisation des services s'est faite pour quasiment tout type d'activités. Ces services veulent maintenant profiter des avantages de l'utilisation des environnements mixtes, que ce soit pour proposer des techniques d'interaction avancées ou pour disposer d'un contexte plus significatif pour l'activité associée.

Tableau 2 : Récapitulatif des dispositifs IHM et des principaux apports théoriques d'utilisation en fonction des exemples étudiés

Type Modalité	Dispositifs d'interaction hommes-machines							Ergonomie				
	Effecteurs			Senseurs				Action naturelle	Double activité	partage d'objets	Espace de communication	Information numériques contextualisés
	VP	Ecran	dispositifs portés	Capteur de position	Interface tangible	Tactile	Mobilité					
Bureautique												
DigitalDesk	o				outil					o		
IncreTable	o			camera de profondeur	objets et outil	o		o	o	o	o	
LivePaper	o	o				o		o		o	o	
Navicam			o		objets							o
Paper-based audio notebook					objets				o			
WordTab	o				outils		acteurs			o	o	
Livres												
The mixed reality book			o		livre					o		o
Souvenir du monde des montagnes		o			livre							o
Conception												
ARTHUR			o		outil		acteurs	o		o		
Built-IT	o				objets		acteurs	o		o		o
SeamlessDesign			o		outils					o		o
Transport												
MetroParis		o		GPS		o	dispositifs					o
TableGate	o				objets		acteurs					o
Wikidrive		o		GPS		o	véhicule					o
Santé												
RAMP			o									o
Virtual Mirror Box		o										o
Jeux												
ARQuake			o		outils			o			o	o
LevelHeaud		o		accélérometre	dispositifs		dispositifs	o				o
IncreTable	o				objets		acteurs	o		o	o	o
Rasende Roboter	o				objets			o		o	o	o
Enseignement et formation												
Aide à la formation à la maintenance		o				o	dispositifs	o				o
Chameleon		o				o	dispositifs					o
Charade	o				outils				o	o	o	o
Formation en entreprise			o		outils							
FlowBlocks et System Blocks					objets		dispositifs	o		o	o	o
HTMD			o	RFID								o
Mixed-reality classroom			o		outils		acteurs	o		o	o	o
Jeux Pédagogiques												
AR KANJI		o		QR Code	objets	o	dispositifs	o		o	o	o
Edventure Game		o		QR Code	dispositifs	o	dispositifs	o	o	o	o	o
Zoo Scene investigators		o		GPS	dispositifs	o	dispositifs		o			o
Relieving the revolution		o		QR Code	dispositifs	o	dispositifs		o		o	o

Tableau 3 : Exemples de jeux, de logiciel d'enseignement et de jeux pédagogiques en fonction des apports pédagogique-ludiques

	Apports pédagogiques				Apports ludiques		
	Informations numériques contextualisées	Associations	Apprentissage de gestes	Apprentissage de procédure	Challenge	Curiosité	Immersion
Jeux							
ARQuake	o						o
LevelHeaud	o				o	o	
IncreTable	o					o	
Rasende Roboter	o				o	o	
Enseignement et formation							
Aide à la formation à la maintenance	o		o				
Chameleon	o						
Charade	o						
Formation en entreprise		o	o	o			
FlowBlocks et System Blocks	o	o					
HTMD	o	o		o			
Mixed-reality classroom	o	o					
Jeux Pédagogiques							
AR KANJI	o	o				o	
Edventure Game	o	o		o		o	o
Zoo Scene investigators	o	o				o	o
Relieving the revolution	o	o		o		o	o

III.6 Conclusion du chapitre

L'informatique est aujourd'hui omniprésente dans nos environnements et est de plus en plus intégrée dans l'ensemble de nos activités. La prise en compte de l'environnement physique et de ses utilisateurs grâce à la contextualisation de ces entités est aujourd'hui possible et cela permet de modifier certaines des activités de l'homme. Les interactions tangibles utilisent des objets physiques de notre environnement pour contrôler les systèmes informatiques. Ainsi, il est aujourd'hui de plus en plus possible de réaliser des activités situées, portées vers le physique, mais ayant un support informatique, des activités portées vers le numérique, avec un support physique ou alors des activités ayant des incidences simultanément sur les deux environnements.

Dans ce chapitre, nous avons présenté différents paradigmes, schématisés en Figure 68. Le schéma reprend celui réalisé par Chalon (Chalon, 2004) et est complété pour prendre en compte des nouveaux paradigmes :

- Les interfaces graphiques classiques où l'utilisateur interagit d'un côté dans le monde physique, et de l'autre côté avec l'ordinateur (Figure 68a) ;
- Les systèmes de réalité virtuelle, où l'utilisateur interagit avec un environnement virtuel à travers un avatar virtuel le représentant grâce à l'utilisation de dispositifs d'interaction (Figure 68b);
- Les systèmes ubiquitaires où l'utilisateur se retrouve dans un environnement intégralement informatisé. Il peut alors agir à la fois avec les objets physiques et dans le monde numérique en fonction des objets qu'il manipule (Figure 68c);
- Les systèmes de réalité augmentée où l'utilisateur interagit dans le monde physique avec perception d'informations numériques contextualisées (Figure 68d);
- Les interfaces tangibles où l'utilisateur manipule des objets physiques pour contrôler des entités numériques (Figure 68e) ;
- Les interactions faites avec tout le corps où l'utilisateur avec le système fait des gestes corporels spécifiques pour contrôler les entités numériques (Figure 68f).

Ces paradigmes peuvent être utilisés pour supporter les spécificités de l'activité d'apprentissage que nous avons vues dans le chapitre 2 :

- la réalisation d'activités sur le lieu du contexte authentique, outillée par des dispositifs mobiles et/ou des dispositifs portés pour proposer des techniques de réalité augmentée afin de donner une information contextualisée ;
- un contexte proche du contexte authentique dans un environnement simulé. La réalisation de simulations peut se faire en utilisant des interactions dites « naturelles », avec usage des interactions kinesthésiques, proxémiques et tangibles.
- La réalisation d'activités selon un workflow prédéfini et structuré ;
- La réalisation d'activités où le groupe a un sens, et où les interactions avec les autres sont nécessaires pour permettre de réaliser l'activité (collaboration).

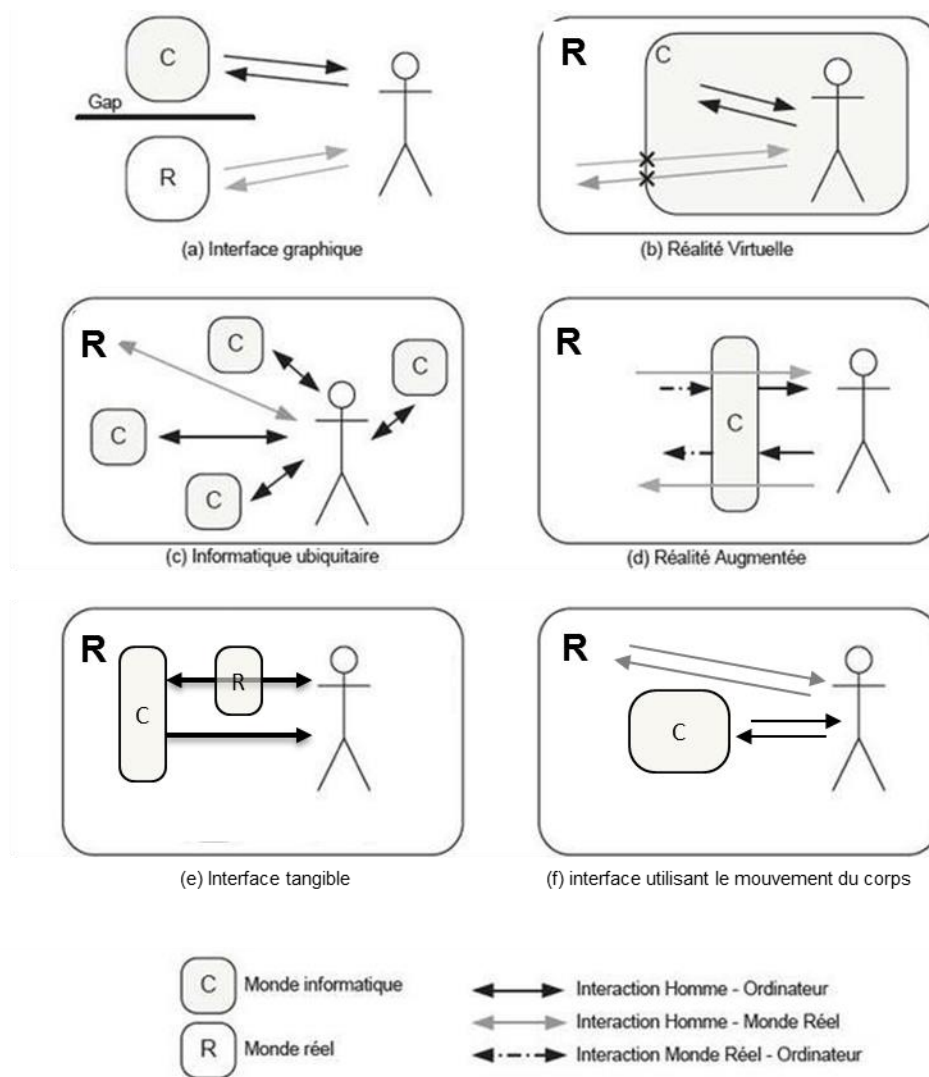


Figure 68 : Différents paradigmes d'interactions (adapté de (Chalon, 2004) (Sato et al., 2000))

Ainsi, ces constats nous permettent de déterminer certaines spécifications pour nos dispositifs pédagogiques :

- la réalisation d'activités se déroulant en environnement signifiant, avec des objets physiques présents en adéquation avec l'activité réalisée, et des informations données en réalité augmentée ;
- la réalisation d'activités où le déplacement est possible par l'utilisation de technologies mobiles et/ou ubiquitaires et où les mouvements des acteurs sont pris en compte ;
- la réalisation d'activités se déroulant en partie dans l'environnement physique et d'activités se déroulant en environnement virtuel, avec une continuité entre les deux types d'activités ;
- l'utilisation d'objets physiques comme moyen d'interagir avec les entités numériques par l'utilisation d'interface tangible ;
- la réalisation d'activités collaboratives et l'utilisation de surfaces partagées de perception/manipulation des entités ;

Chapitre IV : Conception et réalisation de pupitres interactifs augmentés

IV.1	LES BESOINS ET CONTRAINTES IDENTIFIÉS	90
IV.1.1	<i>Contraintes</i>	90
IV.1.2	<i>Besoins</i>	90
IV.2	SOLUTIONS RETENUES ET MISES EN ŒUVRE	91
IV.2.1	<i>Modularité et choix du dimensionnement</i>	91
IV.2.2	<i>Solutions technologiques</i>	94
IV.2.3	<i>Choix de la technique de détection</i>	95
IV.3	SOLUTIONS LOGICIELLES.....	97
IV.3.1	<i>Architecture logicielle de TUIO</i>	97
IV.3.2	<i>Protocole de communication</i>	98
IV.3.3	<i>Profils d'objets interactifs utilisés</i>	99
IV.3.4	<i>Exemple de message issu du protocole TUIO</i>	100
IV.3.5	<i>Différentes utilisations de TUIO</i>	100
IV.3.6	<i>Synthèse sur les solutions logicielles utilisées</i>	101
IV.4	DIFFÉRENTES INTERACTIONS POSSIBLES.....	101
IV.4.1	<i>Objets physiques posés sur la table</i>	102
IV.4.2	<i>Outils tangibles utilisés au-dessus du pupitre</i>	103
IV.4.3	<i>Tentatives non retenues</i>	105
IV.5	AUTRES PROJETS RÉALISÉS AUTOUR DES PUPITRES.....	107
IV.5.1	<i>Apprentissage collaboratif de Brainstorming</i>	107
IV.5.2	<i>Création musicale assistée par interface tangible</i>	108
IV.5.3	<i>Tangible Warhammer</i>	109
IV.6	CONCLUSION DU CHAPITRE	110

Ce chapitre est dédié à la conception et la réalisation de pupitres interactifs augmentés permettant de supporter les activités d'apprentissage. Ces pupitres interactifs présentent trois caractéristiques qui font leur spécificité :

- Le support des interactions tangibles ;
- Le support des interactions tactiles ;
- Une petite taille et une possibilité d'être assemblés pour permettre différentes configurations environnementales.

Nous présentons dans ce chapitre différents aspects : les différentes technologies existantes, les contraintes et les besoins issus du projet et des états de l'art décrits dans les chapitres II et III, les choix de conception effectués et la description de la réalisation.

Nous nous sommes appuyés sur un processus de conception itératif, qui est décrit en détail, intégrant la production de maquette et de photo des prototypes. Nous évoquons aussi des solutions envisagées à un moment donné du projet, mais non retenues dans la version définitive, ainsi que les raisons de ces changements.

IV.1 Les besoins et contraintes identifiés

IV.1.1 Contraintes

L'approche interactionnelle adoptée dans le projet SEGAREM a orienté les travaux vers la mise en œuvre de dispositifs et l'utilisation de techniques d'interaction issues des travaux sur la **Réalité Augmentée (RA)**, l'**informatique ubiquitaire** et les **interfaces tangibles (IT)** :

- La réalité augmentée pour augmenter l'environnement physique en ajoutant des informations numériques contextualisées ;
- L'informatique ubiquitaire pour permettre la prise en compte des modifications du monde physique dans les environnements virtuels ;
- Les interfaces tangibles pour augmenter les entités numériques par des objets physiques, permettant à la fois leurs contrôles et perceptions par les utilisateurs ;

Les activités collectives réalisées sur des postes de travail simulés imposent la prise en compte :

- de situations de mobilité, où les utilisateurs se déplacent vers les lieux signifiants pour l'activité (comme des machines-outils) ou des personnes qu'ils doivent solliciter ;
- de situations fixes permettant la simulation d'une activité faite sur un poste de travail ;

Nous nous plaçons dans la logique initiée par Wellner (Wellner, 1993) avec l'utilisation de tables pour interagir avec un monde virtuel, utilisant à la fois des objets physiques (interface tangible) et les doigts (interface tactile) et la possibilité de se déplacer en utilisant des technologies mobiles (téléphone et tablette).

Ainsi pour ce projet, un des objectifs résidait dans la création d'un prototype d'infrastructure d'exécution supportant l'utilisation d'interfaces tangibles et d'interfaces mobiles.

IV.1.2 Besoins

Au début du projet (2010), il n'existait aucun dispositif présent dans le commerce qui satisfasse l'ensemble de nos besoins et contraintes. Nous avons donc fait le choix de concevoir notre propre solution. La solution choisie devait aboutir à la création d'un environnement interactif riche, fiable et flexible permettant les interactions tactiles et tangibles par plusieurs utilisateurs situés dans le même lieu au même moment.

Une contrainte importante était de permettre une grande modularité des dispositifs. En rapport avec la rapidité d'évolution et la diversité des dispositifs présents, nous voulions permettre l'utilisation simultanée de l'environnement que nous concevions avec d'autres dispositifs issus du commerce (téléphones portables, tablettes, caméra, Kinect...).

IV.1.2.1 Besoins fonctionnels

L'environnement doit être composé au minimum :

- d'un dispositif de présentation de l'information ;
- d'un dispositif d'entrée d'information, plus spécifiquement de permettre la détection des doigts des utilisateurs présents sur le pupitre, ainsi que des objets posés dessus ;
- d'une unité centrale portable ou fixe.

Le dispositif et son environnement d'utilisation doivent être :

- mono-utilisateur, c'est-à-dire adapté à l'utilisation de l'intégralité de la surface du pupitre pendant un temps conséquent ;
- multi-utilisateur, c'est-à-dire adapté à l'utilisation du pupitre à plusieurs, avec au minimum deux personnes (en position debout), interagissant avec le système et deux autres utilisateurs qui peuvent percevoir les entités interactives présentes sur le pupitre ;
- assemblables avec d'autres pupitres, de manière à permettre différentes configurations spatiales de l'environnement du jeu ;
- transportables afin d'être transportés et repositionnés à un autre endroit ;
- support d'interfaces tangibles.

IV.1.2.2 Besoins non fonctionnels

En plus de ces caractéristiques, l'environnement doit être :

- accessible et facile d'utilisation : avec des interactions simples, voire simplistes, afin d'être utilisables par le plus grand nombre ;
- peu prégnant : un des avantages de l'utilisation des pupitres est de diminuer l'importance du système interactif dans la tâche de l'apprenant ;
- extensible : le système est conçu de manière à permettre une évolution de ce dispositif selon un processus itératif ;
- utilisable avec d'autres dispositifs d'interactions ;
- réutilisable : le système doit être conçu de manière à pouvoir être utilisé par la suite par d'autres projets et permettre des études et évaluations ;
- à bas coût et utilisant des composants sur l'étagère ;
- utilisant des bibliothèques open source ou/et par les collaborateurs industriels du projet pour faciliter le développement et permettre d'avoir la main sur les modifications à apporter.

IV.2 Solutions retenues et mises en œuvre

IV.2.1 Modularité et choix du dimensionnement

IV.2.1.1 Modularité des pupitres

Une des particularités de nos pupitres est d'être de petite taille, contrairement à la plupart des autres tables proposées, qui sont plutôt dans la mouvance du toujours plus grand. Ce choix est dans une logique d'utilisation personnelle ou en petit groupe. Une zone commune de travail relativement grande est utile pour que l'ensemble des acteurs ait une certaine conscience des activités faites par les autres.

En rapport avec les considérations ergonomiques d'un espace de travail personnel et les besoins d'un grand espace commun, qui sont théoriquement incompatibles, nous proposons donc **d'assembler des pupitres réalisés** pour obtenir une **table de grande taille** (Figure 69).

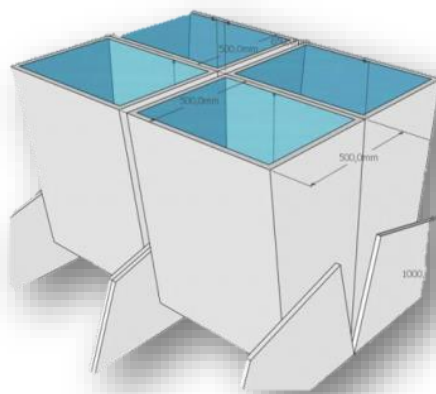


Figure 69 : Assemblage de quatre pupitres pour obtenir une table de grande taille

Nous pouvons imaginer un nombre important de configurations de pupitres, en fonction des spécificités du domaine d'application. Par exemple, nous avons utilisé dans le cadre de Lea(r)nIT (chapitre VII) un assemblage de pupitres en longueur (Figure 70) pour proposer la simulation d'une chaîne de production. Dans d'autres cas, les pupitres peuvent être assemblés en carré, comme dans la Figure 69. Pour permettre ces différents assemblages, **nous proposons dans le chapitre VI (§VI.1.4) un modèle permettant de prendre en compte ces considérations en utilisant la notion de zone logique**. L'idée sous-jacente est de définir des zones « proches » comme des zones pouvant être perçues et/ou pouvant échanger des objets.



Figure 70 : trois pupitres assemblés en ligne pour Lea(r)nIT

IV.2.1.2 Choix du dimensionnement du pupitre

En rapport avec les besoins et les normes ergonomiques X35-102 (NF X35-102, 1998) et X35-104 (NF X35-104, 2008), nous avons défini des contraintes de conception pour les pupitres :

- le pupitre doit avoir une profondeur supérieure à 30 cm et inférieure à 50 cm ;
- le pupitre ne doit pas faire plus de 110 cm de large ;
- Le pupitre doit avoir une hauteur comprise entre 86 cm et 110 cm pour la position debout ;
- un espace doit être prévu pour les pieds d'une profondeur minimum de 15 cm et d'une hauteur de 10 cm.

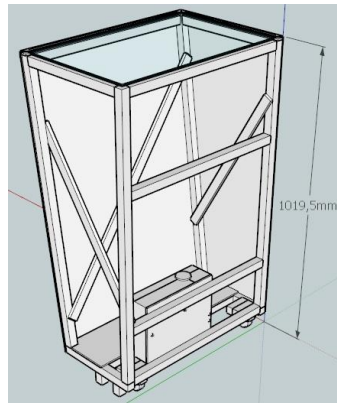


Figure 71 : Modélisation avec un outil de CAO d'un pupitre

La structure du pupitre est réalisée intégralement en bois, pour des raisons de facilité de construction et, dans une moindre mesure, de poids. Tous les éléments intérieurs (comme la caméra, le projecteur et les rubans de LED) sont fixés et utilisent leurs propres systèmes de fixation. En définitive, le pupitre fait environ 102 cm de hauteur, 62 cm de large et 47 cm de profondeur (Figure 72).



Figure 72 : Photo du pupitre en cours de construction

IV.2.1.3 Choix de la surface de projection

Afin de permettre la projection d'une image projetée par le vidéoprojecteur, il est nécessaire d'utiliser un matériau semi-opaque et semi-transparent. Cette surface est appelée surface de projection. Nous avons initialement essayé d'utiliser des papiers calques de grammages différents, des couvertures de manuels scolaires, pour trouver l'opacité et l'épaisseur de surface adaptées, puis nous avons finalement commandé des plexiglas du commerce à l'opacité équivalente.

La solution choisie n'est pas parfaite : la meilleure solution pour les interfaces tactiles n'est pas la même que pour les interfaces tangibles. D'autres tests réalisés ont permis de définir une bonne opacité pour les interfaces tangibles, qui ont par contre détérioré la qualité d'affichage sur le pupitre (une opacité faible donne un contraste faible).

En fonction de modalités privilégiées, nous avons utilisé deux surfaces de projection différentes :

- une première, plus transparente (environ 35-40% d'opacité) pour mieux détecter les

interfaces tangibles) ;

- une seconde, plus opaque (70% d'opacité) pour avoir un affichage de meilleure qualité.

IV.2.2 Solutions technologiques

IV.2.2.1 Choix des dispositifs de présentation

Pour fournir à l'utilisateur un retour visuel, nous utilisons un vidéoprojecteur ESPON EB1723 avec une résolution de 1280x1024 pixels (qui n'est pas un grand angle, mais possède tout de même un bon ratio distance-taille), un ratio 4:3 et une faible latence, qui permet la production d'une image de 30 pouces (75 cm – 60 cm de large pour 45 cm de long) à une distance approximative de 65 cm.



Figure 73 : Photo du pupitre en cours de construction, vidéoprojecteur, caméra et alimentation

Le vidéoprojecteur et la dimension du pupitre sont corrélés par le ratio de projection. Dans le cas où la surface de projection est trop petite, il est possible d'utiliser des miroirs pour diminuer la distance entre vidéoprojecteur et surface de projection, cependant, plus le système utilise de miroirs, plus son installation est longue et minutieuse (du fait des micromouvements) car les miroirs ont besoin d'être ajustés finement pour ne pas créer une distorsion.

IV.2.2.2 Choix du dispositif d'acquisition

La manière la plus simple et la moins coûteuse aujourd'hui d'accéder à un flux vidéo est d'utiliser des webcams. La plupart des caméras vendues dans le commerce sont initialement sensibles à la fréquence proche du visible, et en particulier au proche infrarouge. Pour permettre une vision plus proche de l'œil humain, les webcams sont équipées de filtres infrarouges. Transformer ces caméras en caméras infrarouges implique la suppression du filtre infrarouge et ajout d'un filtre de lumière visible à la place. Les filtres de lumières visibles régulièrement utilisés sont généralement des négatifs photographiques ou d'anciennes disquettes 3" 1/4.

Une des caractéristiques techniques essentielles pour la construction des pupitres diminue radicalement le champ des possibles : la suppression du filtre infrarouge est nécessaire. Si la résolution n'est pas un problème (320x200 pixels peuvent être suffisants), la fréquence d'acquisition est importante pour diminuer le temps d'acquisition de l'information, et par conséquent augmenter la réactivité de l'interface utilisateur.

Le choix s'est porté sur une caméra Microsoft Life Cam VX-1000 pour la première version du prototype, et une caméra PSEYE pour les autres. Cette dernière a été choisie pour permettre un champ de vision plus grand (une distance moins importante entre la caméra et la surface de projection) et une fréquence d'acquisition plus importante (120hz en 320X200 pixels). Un angle de vision plus important implique une distorsion en barillet. Ce type de caméra grand-angle acquiert plus d'informations au centre du champ de vision. En conséquence, des lignes droites captées à l'extrémité de l'image sont incurvées (aberration optique) et imposent un traitement pour limiter les effets de la distorsion sur le suivi des objets.

IV.2.2.3 Choix des illuminations

Le choix de la fréquence des LED infrarouges s'est fait en fonction de la non-efficacité des filtres de lumières visibles et de la sensibilité des caméras (beaucoup moins sensible après une longueur d'onde de 900 nm). Notre choix s'est porté sur des LED de longueur d'onde de 850 nm.

Pour la première version du prototype, nous avons réalisé différentes bandes de LED, utilisant 6 LED mis en série (Figure 74). Pour la seconde version du prototype, nous avons acheté des rubans de LED dans le commerce et ainsi positionné 126 LED autour de la plaque de plexiglas de manière uniforme (Figure 75).



Figure 74 : Système électronique réalisé pour faire fonctionner les LED infrarouges

L'alimentation de ces LED se fait par une alimentation dédiée 12V. Dans un premier temps, nous avons utilisé une alimentation d'ordinateur de bureau délivrant du 12V (puissance de 220W), puis nous avons acheté spécifiquement des transformateurs ayant les mêmes caractéristiques pour la seconde version du prototype.

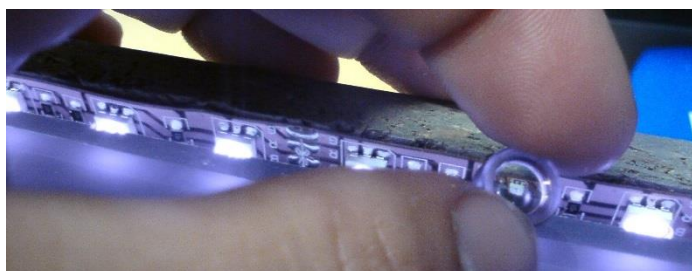


Figure 75 : Effet d'un filtre infrarouge sur le rayon émis

La Figure 75 présente un ruban de LED éclairé, avec présence d'une lentille (tenu entre les doigts) comportant un filtre infrarouge, présent par défaut dans les webcams. Nous constatons ainsi, l'efficacité de ces filtres et la nécessité de les enlever pour détecter un signal lumineux infrarouge. Le dispositif utilisé n'est pas contrôlable par logiciel. Pour l'allumer/éteindre, il est nécessaire de brancher/débrancher la prise électrique.

IV.2.3 Choix de la technique de détection

Dans une logique de diminution de coût et de faisabilité de construction du dispositif, nous avons choisi d'utiliser simultanément deux technologies : FTIR et RDI (technologies présentées

en III.2.2.1). Le choix de combiner les technologies FTIR et RDI s'est fait pour mieux détecter doigts et objets présents simultanément sur le pupitre. Nous avons réalisé la surface conciliante à partir de silicone transparent dilué au White Spirit.

En utilisant RDI plutôt que FDI, les caméras sont présentes sous le pupitre et cela permet de supprimer le phénomène d'occlusion du pupitre par les objets physiques et les doigts de l'utilisateur. En effet, lorsque la caméra est au-dessus du pupitre, l'objet et la surface du pupitre sont régulièrement cachés par l'utilisateur.

La technologie FTIR permet la détection des doigts, avec des formes très lumineuses et la technologie RDI permet la détection d'objets physiques. La technologie RDI permet quant à elle d'augmenter la luminosité des objets et donc d'améliorer leur détection. Une des solutions couramment employées est d'utiliser des illuminateurs infrarouges (un ensemble de LED) disposés à l'intérieur du pupitre, à proximité de la surface (Figure 76).

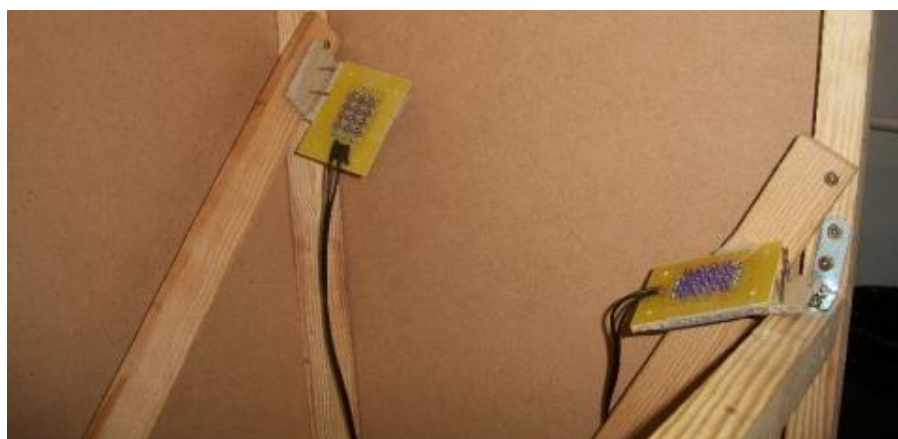


Figure 76 : Utilisation d'illuminateurs afin d'augmenter le contraste des objets présents

Le choix de la technologie RDI permet beaucoup plus de possibilités sur les objets physiques, qui sont plus facilement reconnus sur le pupitre. Cette technologie permet aussi de mouvoir les objets présents (tout en étant détectés) au-dessus du pupitre.

Cependant, les illuminateurs de RDI augmentent largement le contraste des objets présents, mais ceux-ci créent aussi des points chauds (reflets des illuminateurs). Ces zones d'ombres (ou de lumière dans le cas présent) rendent impossible la détection d'objet.

Nous avons fait différents essais afin de supprimer ou de limiter cet effet de point chaud : en utilisant des rétro-réflecteurs et des filtres polarisants.

IV.2.3.1 Tentative d'utilisation de rétro-réflecteurs

Les rétro-réflecteurs sont des catadioptrés qui concentrent la lumière qu'ils renvoient vers la source lumineuse. Ces rétro-réflecteurs sont habituellement utilisés pour la sécurité routière (vélo, panneau de circulation). L'idée est, dans notre cas, d'appliquer ces réflecteurs aux contours du marqueur. De cette manière, les objets présents ont une luminosité très importante. L'exigence angulaire de la solution proposée rend le contraste généralement insuffisant car il est nécessaire d'avoir une très faible distance entre la source de lumière et son capteur. Aussi, les rétro-réflecteurs doivent se trouver dans un plan orthogonal pour que cette technique fonctionne. Ainsi, les objets lorsqu'ils sont au-dessus du centre de l'écran de projection sont très bien réfléchis, mais pas aux extrémités du pupitre. Après différentes tentatives de placement des réflecteurs et des sources lumineuses, le résultat n'a pas été à la hauteur des besoins et la solution n'a pas été retenue.

IV.2.3.2 Tentative d'utilisation de réflecteur et de polarisateur

Afin de réduire le problème de netteté et de contraste, qui détériore significativement les possibilités de détection et de suivi des objets physiques présents sur le pupitre, nous avons ensuite essayé de polariser la lumière infrarouge grâce à un filtre linéaire. L'opération consiste à ajouter un filtre polarisant linéaire sur la source de lumière IR annexe (les illuminateurs) et à placer un filtre polarisant tourné à 90° sur une première caméra IR et une seconde sans filtre.

Le filtre polarisateur de lumière filtre la lumière issue des illuminateurs polarisés. Ainsi, la caméra ayant le filtre ne capte pas les points chauds alors que la seconde détecte les objets physiques. Nous avons donc une première caméra détectant les doigts et une seconde détectant les objets. Cependant les filtres utilisés n'ont pas permis de séparer la lumière issue des illuminateurs de celle issue des vidéoprojecteurs. L'ajout des filtres pour vidéoprojecteur a donc été nécessaire, cependant, ceux-ci n'ont pas été testés (le coût trop important, environ de cent euros par table).

Le choix, après essai, s'est porté sur l'utilisation de la technologie DSI, qui utilise une propriété spécifique du plexiglas Endlighten, contenant des microparticules responsables d'une diffusion homogène des rayons infrarouges dans l'ensemble de la plaque. Les doigts sont détectés par diffusion de la lumière infrarouge au contact avec la surface du plexiglas. Ces techniques d'acquisition/présentation de l'information imposent l'utilisation d'un dispositif d'acquisition et d'un dispositif de présentation précisé ci-après.

IV.3 Solutions logicielles

Pour supporter l'ensemble des technologies précédemment citées, nous avons mis en place une solution de type intergiciel (middleware) qui réalise la liaison entre pilotes et application cible.

Pour permettre une abstraction de données résultantes des activités des utilisateurs, nous utilisons TUIO (Tangible User Interface Object Protocol) (Kaltenbrunner et al., 2005).

TUIO se base sur l'acquisition des données brutes (venant des périphériques), reçues et interprétées par le serveur TUIO. Les informations sont envoyées à l'application cible (client TUIO) sous un profil TUIO prédéfini.

TUIO est un protocole et cadre de programmation, imposant un certain format de réception des données pour l'interprétation des actions des utilisateurs, TUIO amène aussi une logique de programmation à respecter pour permettre aux applications cibles de fonctionner.

Il est ainsi possible de concevoir des applications utilisant des langages très différents et prenant en compte ce protocole (C++, Java, ActionScript, Python, C#, Objectif-C, HTML5 ou encore Processing).

IV.3.1 Architecture logicielle de TUIO

TUIO a été réalisé pour reactIVision (Kaltenbrunner et al., 2007) et est depuis un standard pour la réalisation d'interactions tangibles (au sens large du terme). Pour fonctionner, TUIO se base sur une logique client/serveur séparant le logiciel de traitement des informations issues du pilote

et de l'application cible (Figure 77). Ainsi par l'utilisation de différents protocoles de communication (de type UDP ou TCP), les informations sont transmises du serveur au client.

Une première couche d'interprétation est réalisée par la couche OSC (Wright et al., 2003) qui permet l'encodage de ces messages en données binaires, plus compactes. OSC (Open Sound Control), un standard initialement créé pour les instruments de musique électronique. Ce protocole est un standard actuel au niveau des interactions en temps réel (il a été initialement inventé pour la réalisation de musique assistée par ordinateur et remplace le MIDI). Ce niveau de description se place au plus bas niveau de couche application du modèle OSI (Zimmerman, 1980) (ISO 7498-1:1994, 1994).

Les mécaniques de type « callback » sont utilisées pour permettre la transmission en retour de paramètres (fonctions données en argument à une autre fonction). Le Legacy est une collection de classes qui permet l'utilisation d'anciennes librairies. Le newEventModel sert à communiquer avec l'application cible dans les autres cas (les cas classiques).

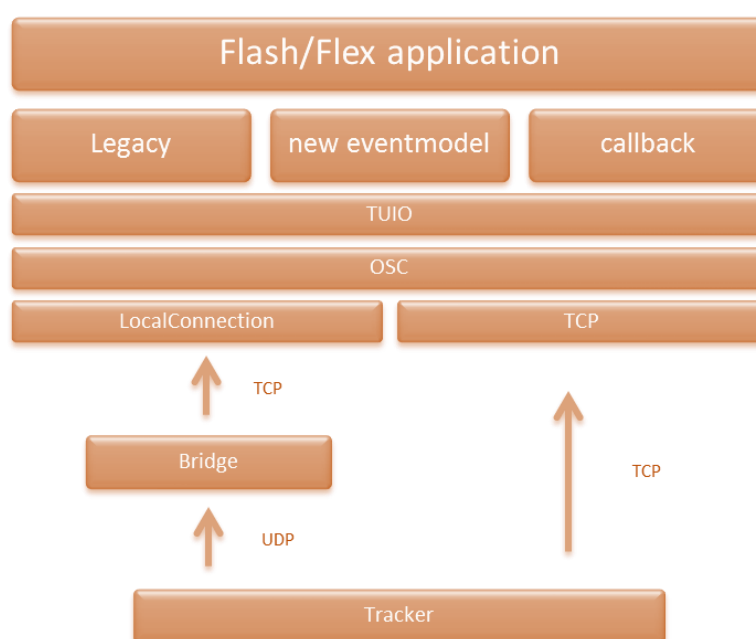


Figure 77 : Architecture de TUIO

IV.3.2 Protocole de communication

Différents types de messages permettent la compréhension et la détection des profils d'objets :

- un message de type SET permet de **notifier d'un changement d'état** d'un objet. Les messages de types SET sont périodiquement ré-envoyés même si l'état de l'objet n'a pas changé et permettent de préciser par exemple le déplacement des différents objets ;
- un message de type ALIVE permet de notifier **l'existence d'un nouvel objet**, avec un identifiant unique correspondant à l'objet. L'état d'un objet ALIVE est ré-envoyé périodiquement avec un message SET (information redondante, mais qui permet d'éviter des erreurs lors d'une perte de paquet) ;
- un message de type FSEQ permet d'**associer les objets présents à une image spécifique** en donnant un identifiant à un groupement de SET et de ALIVE, et permet ainsi de situer dans le temps les informations ;
- un message de type SOURCE permet de **situer la source du message**. Il est ainsi possible d'avoir plusieurs serveurs TUIO différents, permettant la détection de nombreux types

d'interaction en parallèle.

Chaque paquet porte un identifiant lié à la séquence d'images (fseq). Le client peut maintenir la cohérence des données pour identifier et prendre en compte les pertes de paquet et des délais importants.

IV.3.3 Profils d'objets interactifs utilisés

Certains profils (types d'objets) ont été définis de manière à distinguer doigts, interfaces tangibles, squelettes (corps des utilisateurs), pointeurs (curseurs de souris par exemple). Ces profils permettent la sémantisation des interactions réalisées dans l'environnement physique et la récupération des informations utiles.

Si ces profils prédéfinis ne correspondent pas, TUIO permet également la définition de profils personnalisés. Il est ainsi possible d'avoir non plus des données brutes, mais des données typées.

La plupart des clients TUIO servent au suivi d'objets 2D, bien que les profils pour les objets 3D soient prévus. Dans les profils régulièrement utilisés, nous pouvons citer :

- les « curseurs », correspondant à la détection d'un point de sélection. Ce profil est utilisé pour les doigts ;
- les « objets », correspondant à la détection d'informations issues d'objet avec prise en compte d'informations concernant, entre autres, l'orientation. Ce profil est généralement utilisé pour les interfaces tangibles avec marqueurs.

D'autres profils existent, mais ne sont pas utilisables dans tous les clients TUIO (spécification TUIO 2.0). Nous pouvons citer dans les profils utilisables :

- les messages symboliques qui permettent d'envoyer des informations numériques telles que **les tags** (que ce soit des QR code, RFID, information de couleurs...) ;
- les profils géométriques **squelettiques** (utilisable par exemple avec Kinect) qui sont des ensembles de points et de segments.

Pour distinguer les différents types de captures de ces différents objets, plusieurs modes ont été configurés, correspondant aux caractéristiques de l'objet et/ou de la manière de le capter. En effet, que ce soit une feuille de papier (objet planaire) ou un cube (dont nous ne captions que les informations associées à son plan inférieur), le système ne fait pas la différence.

Les différents modes de captation des objets sont :

- les objets 2D posés sur des surfaces interactives, avec connaissance au minimum de la position, vitesse et accélération de l'objet ;
- les objets en 3D isométrique (appelle aussi 2,5D) qui sont les objets ou les trois dimensions sont représentés, très utilisés en CAO et dans le jeu. Ce mode de représentation se dit d'une vue 2D pivoté d'un angle connu, ce qui permet de donner une représentation plus riche de l'objet ;
- les objets en 3D, où il est possible d'acquérir l'ensemble des informations concernant à la fois les positions et les orientations selon les trois axes.

Étant donné la grande variété de types de profils, les messages associés ont eux aussi des caractéristiques très différentes.

L'utilisation de profil typé permet une indépendance de l'application par rapport aux dispositifs utilisés.

IV.3.4 Exemple de message issu du protocole TUIO

Nous détaillons un profil simple pour la communication d'objets captés en deux dimensions.

`/tuo/2Dcur set « session » « x » « y » « X » « Y » « m »`

Pour ce profil, les informations relatives à :

- `/tuo/2Dcur` : profil de type curseur en deux dimensions ;
- `Set` : permet de définir les propriétés d'un objet ;
- `« session »` pour l'identifiant de la session ;
- `« x »` et `« y »` pour les positions relatives (nombre flottant entre 0 et 1) ;
- `« X »`, `« Y »` pour les vecteurs d'accélération ;
- `« m »` pour les informations relatives à l'accélération de mouvement.

IV.3.5 Différentes utilisations de TUIO

TUIO a été initialement conçu pour reconnaître la présence d'interface tangible sur une table (la position, l'orientation et la forme de différents objets). Cependant, son utilisation est plus large que cela, et il est possible de connaître différents types d'objets à tout moment (objets 3D, squelettes, puces RFID, QR code...).

Ces informations de gestes « **statiques** » (car correspondant à un modèle d'objet à un instant t particulier) peuvent être associées entre elles pour permettre la connaissance de gestes statiques multi-objets (ou multi-doigts).

Ces informations ne sont pas toujours suffisantes pour permettre la réalisation d'interactions riches : il est souvent nécessaire de prendre en compte la modification de l'état des objets pendant un temps donné pour comprendre les techniques d'interaction réalisées. Pour cela, il est possible de ne plus considérer un objet à un instant donné, mais pendant une période donnée. Cette distinction permet de séparer les gestes statiques (ou postures) des gestes dynamiques.

Les gestes dynamiques sont aussi de différents types : ceux ayant besoin des informations à l'instant précédent et ceux ayant besoin d'information pendant une période plus longue (au minimum deux images).

De nombreux gestes utilisés dans nos dispositifs actuels n'utilisent que les informations liées à la différence entre deux instants. Par exemple il est possible de citer les gestes tels que « Zoom in/out », rotate, drag (et leur traduction française zoom avant/zoom arrière, rotation, glisser) comme gestes dynamiques simples...

Pour les gestes dynamiques qui se basent sur une période plus longue, il est nécessaire de définir un début de geste, une fin de geste et de capturer l'intégralité des mouvements pendant cette période. De manière assez classique, pour détecter un début et une fin de mouvement, l'utilisation d'un seuil de vitesse et/ou d'accélération est requise. Pendant cette période, si une signature de mouvement captée est proche d'une signature de mouvement définie, il est alors

possible de considérer l'ensemble du mouvement comme étant associé au geste dynamique prédéfini.

Nous pouvons citer dans les gestes dynamiques à période plus longue : le tracé des lettres de l'alphabet, le tracé d'objets symboliques (comme un drapeau par exemple) ou iconiques (un rond, triangle, carré...).

Les bibliothèques natives de TUIO permettent de définir des gestes statiques et des gestes dynamiques à partir d'un formalisme. Son fonctionnement est basé sur la réception d'évènement de mouvement élémentaire agencé selon des étapes à parcourir (type réseau de Petri). Les mouvements élémentaires sont spécifiés à partir de la présence ou non des objets/doigts, des déplacements ou des rotations.

Pour décrire les gestes dynamiques plus avancés, il est nécessaire d'ajouter des bibliothèques supplémentaires permettant par exemple d'utiliser une base de gestes prédéfinis (tel que le \$1 Algorithm) (Wobbrock et al., 2007). Nous avons utilisé pour Lea(r)nIT (chapitre VII) la détection mono et multi-objets, des gestes statiques ainsi que de gestes dynamiques très simples (geste de rotation par exemple). Cependant, dans un projet réalisé par des étudiants de l'École Centrale de Lyon, nous avons intégré la prise en compte de gestes dynamiques et ainsi permettre la compréhension de geste iconique au travers d'une interface utilisant Kinect. Ce type de gestes est particulièrement utile pour permettre l'utilisation de fonctions (paramétrées ou non) dans un environnement en deux ou trois dimensions.

IV.3.6 Synthèse sur les solutions logicielles utilisées

L'utilisation de TUIO permet :

- une indépendance des applications cibles par rapport aux dispositifs d'interaction ;
- une indépendance des applications cibles par rapport aux langages de programmation.

Grâce à cela, il est possible d'avoir une application pouvant être hébergée sur différents types de dispositifs et de permettre une détection en parallèle :

- des mouvements de l'utilisateur (son squelette) avec une caméra de profondeur (type Kinect) ;
- des interactions tactiles (sur téléphones portables et sur tables interactives) ;
- des objets physiques présents (sur table interactive).

L'utilisation de ce type de protocole permet une grande marge de manœuvre sur les choix technologiques du projet ainsi que l'ajout de dispositifs technologiques non prévus. Les logiques de programmation associées rendent aussi le portage des applications plus facile sur d'autres dispositifs (à condition que le langage soit compatible).

IV.4 Différentes interactions possibles

Deux types d'interface tangible sont reconnus :

- Les objets physiques posés sur le pupitre ;
- les objets portés directement en main.

IV.4.1 Objets physiques posés sur la table

Les objets physiques sont détectés et suivis par la solution D'Fusion® fournie par notre partenaire Total Immersion. D'Fusion® utilise une technologie de détection et de suivi sans marqueurs. Un plug-in transforme les données reçues selon le format et le protocole de communication TUIO et permet ainsi leur transfert à l'application cible.

La solution proposée par Total Immersion se base sur la détection d'image. Nous avons donc utilisé des images positionnées en dessous des objets physiques afin de permettre la détection des différents objets physiques. La détection se fait en fonction de ces images et non de l'ombre de chacun des objets.

Interface tangible pour déterminer la puissance du rayon (par rotation)

Interface tangible pour déterminer l'angle d'orientation du rayon

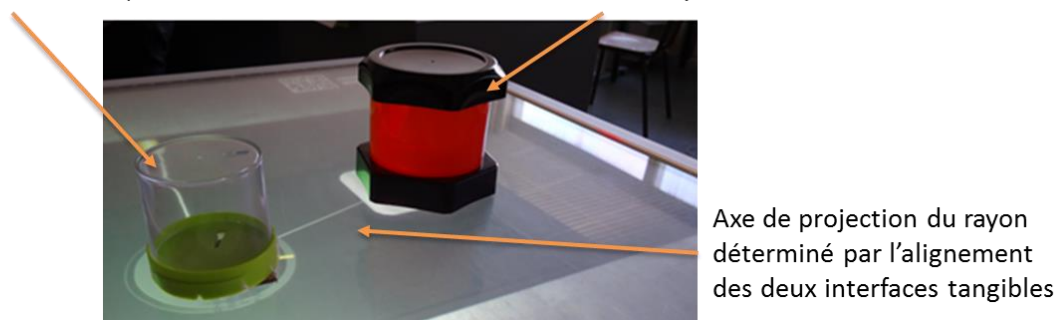


Figure 78 : Interfaces tangibles utilisées dans Lea(r)nIT

Dans le cadre de Lea(r)nIT présenté au chapitre VII, nous avons utilisé les objets physiques posés sur la table comme moyen de contrôler « un rayon laser permettant la réplique d'androïdes ». Pour cela (Figure 78), l'un des deux objets contrôlait la puissance du rayon et le second l'angle d'orientation du rayon. La position et l'orientation des deux objets physiques utilisés simultanément permettent de viser des entités interactives se déplaçant dans l'interface. L'intensité du rayon modifie le temps pendant lequel chaque objet doit être visé.

Les techniques d'interaction utilisées imposaient une manipulation fine et donc une grande concentration est demandée à l'utilisateur (Figure 79). L'utilisation de techniques d'interaction utilisant à la fois le positionnement des deux interfaces tangibles associées au contrôle de l'orientation amène l'utilisateur dans une nouvelle expérience de manipulation d'IHM (ou autrement dit dans le domaine du jeu, un nouveau gameplay). L'utilisateur doit d'abord comprendre le principe du système, puis apprendre à le maîtriser en faisant des erreurs, ce qui lui procure un sentiment d'engagement plus important.



Figure 79 : Utilisation des objets physiques dans Lea(r)nIT

Nous avons comparé deux situations dans le cadre de la simulation d'une chaîne de production : une utilisant des interfaces tangibles et l'autre non informatisée en utilisant des LEGOs © (et donc une activité plus simpliste, plus abstraite et moins ludique).

Pour faire la comparaison de l'utilisation des deux types d'interactions, huit utilisateurs (quatre avec les interfaces tangibles et quatre sans) ont noté l'expérience ressentie selon des qualificatifs (cohérence, pertinence, représentativité de l'activité, utilité, amusement, design, fonctionnements, clarté).

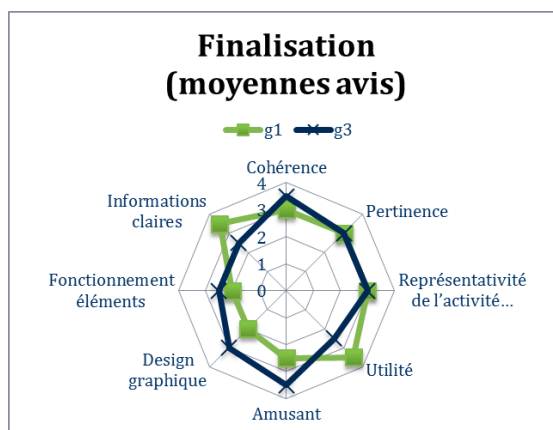


Figure 80 : Avis de l'utilisation du poste de finalisation

Les résultats des notations des utilisateurs sont relativement proches (Figure 80). La version simpliste ayant de meilleures notes au niveau de l'utilité et de l'information plus claire alors que la version avec interfaces tangibles a de meilleures notes au niveau de l'amusement et du design. L'expérience a été faite avec trois groupes différents, mais seulement deux ont été conservés (les groupes G1 et G3) car le groupe G2 a utilisé une version du prototype pas suffisamment utilisable pour être évalué.

Ces résultats peuvent nous indiquer une activité n'étant pas forcément des plus adaptées vis-à-vis de l'apprentissage, mais un plus fort niveau d'amusement avec l'utilisation corrélée des deux interfaces tangibles.

IV.4.2 Outils tangibles utilisés au-dessus du pupitre

Nous avons aussi réalisé un « pistolet à colle virtuelle » pour Lea(r)nIT. Celui-ci utilise une LED infrarouge disposée à l'extrémité de son embout afin d'envoyer une lumière infrarouge à l'endroit où l'utilisateur pointe (Figure 81).



Figure 81 : Utilisation du pistolet à colle dans Lea(r)nIT

Ce mécanisme permet de déposer de la « colle virtuelle » sur les différentes entités de l'interface. Pour permettre un réalisme de fonctionnement satisfaisant, nous avons ajouté un interrupteur au niveau de la gâchette afin de n'envoyer le signal lumineux uniquement lorsque l'utilisateur enclenche le mécanisme (Figure 81).



Figure 82 : Pistolet à colle infrarouge réalisé

Pour ce prototype, nous avons choisi d'envoyer un signal lumineux d'une forme quelconque. L'algorithme associé à la vision de la caméra infrarouge ne fait pas la différence entre le pistolet et le doigt d'un utilisateur. Cependant, dans l'utilisation, les utilisateurs ne se rendent pas compte de cette subtilité, et conservent le pistolet, même si ceux-ci pourraient très bien faire l'interaction avec le doigt.

De la même manière que pour les interfaces tangibles, nous avons comparé l'assemblage de matériaux utilisant ce pistolet et une activité physique ayant la même symbolique. Cette seconde activité utilisée dans le jeu pédagogique Buckingham Lean Game, réalise l'assemblage de LEGO® en emboîtant directement les briques de LEGO®.



Figure 83 : Assemblage de LEGO® dans le Buckingham Lean Game

Les notations du poste (Figure 84) donnent de meilleurs résultats pour Lea(r)nIT, en particulier au niveau de la cohérence, de la pertinence et de la représentativité de l'activité. Ces résultats peuvent s'expliquer par un niveau de réalisme beaucoup plus important dans l'activité d'assemblage avec le pistolet à colle. Aussi, l'utilisation d'objets physiques comme outils n'est vraiment pas habituelle. De cette manière, les apprenants avaient l'impression d'être en présence d'une technologie extrêmement simple, mais innovante.

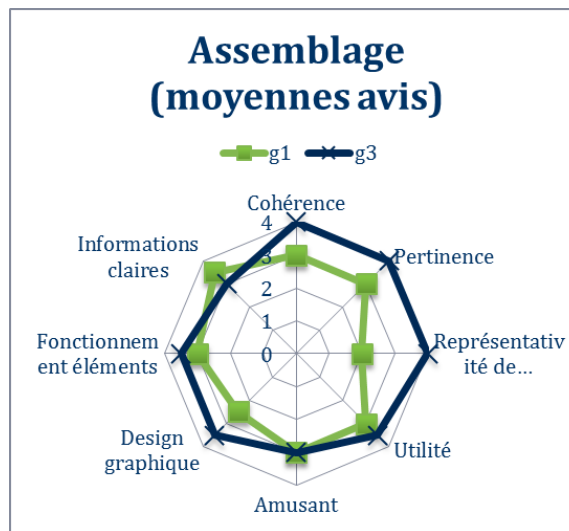


Figure 84 : Avis des différents utilisateurs du poste d'assemblage

L'utilisation de ce type de dispositif interactif peut d'une certaine manière se rapprocher d'un stylet. Cependant, le fait d'avoir une gâchette nous ramène au jouet de l'enfance, un plus grand plaisir et une envie de jouer.

Nous avons spécifiquement réalisé un pistolet à colle infrarouge en correspondance avec les besoins de Lea(r)nIT, cependant, ce principe d'utilisation d'outil tangible utilisé au-dessus du pupitre est intéressant dans beaucoup de simulations de situations utilisant des outils (tout type d'outil utilisant un déclencheur et servant à pointer un endroit comme une agrafeuse, une bombe de peinture ou encore une perceuse...). Le réalisme est plus important grâce à une action proposée plus proche de celle de l'activité réelle.

Afin de réaliser ces outils, les jouets pour enfant ou alors les outils réels fournissent du matériel utilisable rapidement et modifié pour l'occasion. Une autre possibilité se base sur l'utilisation d'imprimante 3D pour la réalisation d'objets personnalisés.

IV.4.3 Tentatives non retenues

IV.4.3.1 Objets transparents

Nous avons cherché à intégrer des objets physiques, fait à partir de silicone transparent et de marqueurs inspirés des recherches faites par Weiss (Weiss et al., 2009). Dans les interfaces tangibles qu'il propose, nous retrouvons des interfaces classiques telles que des boutons (Figure 35a), un potentiomètre rotatif (Figure 35b), un potentiomètre rectiligne (Figure 35c) et un clavier (Figure 35d).

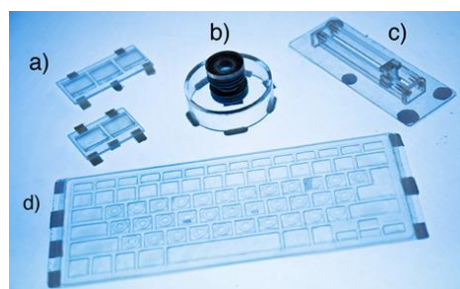


Figure 85 : Interfaces transparentes (Weiss et al., 2009)

Nous avons trouvé l'utilisation d'objets en silicone transparent intéressante, car elle permet :

- de façonner simplement la forme de l'objet grâce à des moules ;
- de percevoir des informations numériques (par exemple des couleurs) au travers des interfaces transparentes ;
- de déformer l'interface tangible pour réaliser des boutons et/ou donner du sens à la pression exercée par l'utilisateur dans son geste.

Pour cela, nous avons réalisé un mélange à base de silicone transparent et de white spirit (la résine de silicone se dilue dans le white spirit) pour former une pâte liquide. Celle-ci est mise dans le moule. Après séchage, l'objet a pris la forme du moule.

Nous n'avons finalement pas utilisé ces objets dans les dernières versions des prototypes à cause des difficultés de suivi des objets sur le pupitre. À la place, nous nous sommes concentrés sur l'utilisation d'objets physiques ayant des marqueurs pour permettre une détection plus rapide et plus efficace. Cependant, cette possibilité semble pour nous un bon moyen pour cumuler des interactions tangibles et des interactions tactiles.

IV.4.3.2 Détection de la proximité des objets physiques

Nous avons mené une étude sur la reconnaissance de la proximité de plusieurs objets physiques et leur rassemblement dans des configurations prédéterminées avec les technologies couplées FTIR et RDI. Ce type de techniques d'interaction rapprochant différents objets les uns des autres est peu utilisé aujourd'hui, mais il nous a semblé intéressant pour des tâches de regroupement d'objets.

La technique d'interaction d'assemblage d'objets utilise plusieurs objets. L'utilisateur les rapproche les uns des autres de manière à ce qu'ils se touchent. Pour cela, il est nécessaire de prendre une signature numérique de chaque objet (Figure 86 a et b), et une signature de l'assemblage des deux objets (Figure 86 c).

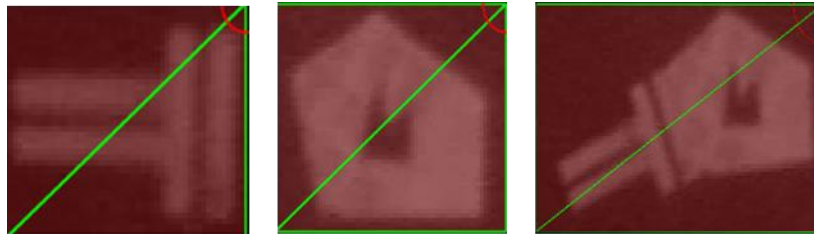


Figure 86 : Signature d'objets enregistrés permettant la détection des associations

Ces images sont celles de référence, capturées par D'Fusion pour permettre le tracking. Les objets détectés sont des bouts de papier avec une forme bien spécifique, de manière à être mieux détectés par D'Fusion.

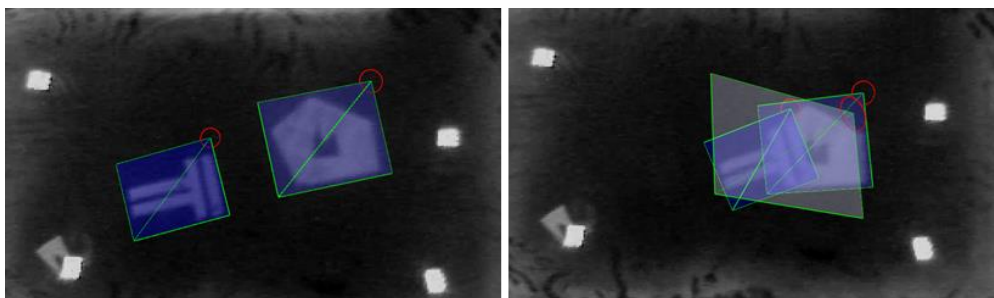


Figure 87 : Reconnaissance des différents objets lorsqu'ils sont éloignés (a) ou proches (b)

Le résultat du suivi des objets, bien qu'imparfait, semble plutôt intéressant. Dans un premier temps, les objets sont éloignés et trackés indépendamment (Figure 87a) et détectés ensemble (Figure 87b).

Nous n'avons pas pu mettre en œuvre ce type de technique d'interaction par la suite, car cette finesse de détection des objets n'est possible qu'avec utilisation de rétro réflecteurs. Les rétro réflecteurs étant abandonnés, nous avons aussi abandonné l'utilisation de ce type de technique d'interaction.

IV.5 Autres projets réalisés autour des pupitres

Les pupitres construits ont été le support d'applications très différentes. Bien qu'initialement conçus pour Lea(r)nIT, différents étudiants en stage ou projets d'étude ont réalisé des applications utilisant les pupitres :

- l'apprentissage de Brainstorming en groupe ;
- la création musicale assistée par ordinateur ;
- la réalisation de jeu de rôle.

IV.5.1 Apprentissage collaboratif de Brainstorming

Un stage a été réalisé par un étudiant en M2 Recherche Sciences cognitives au sein du laboratoire pendant six mois. Cet étudiant (Schubert, 2012) a supposé qu'avec des pupitres et des outils permettant une prise de recul (concept maps), il serait possible d'apprendre mieux que sur des médias plus traditionnels.

Pour répondre à cette question, Schubert s'est intéressé à une tâche particulière d'un jeu utilisé au département GI de l'INSA, le Brainstorming, pour le transposer sur nos pupitres. Le brainstorming est une technique de résolution créative de problème sous la direction d'un animateur. Il prend une forme plus organisée qu'une réunion informelle de collecte d'idées émergeant de façon spontanée par ses participants. L'apprentissage du brainstorming se fait grâce à son utilisation, puis un exercice utilisant des cartes conceptuelles.

L'objectif était donc double :

- dépasser le paradigme de design « one-user/one-computer » (Stewart et al., 1999);
- utiliser le potentiel des cartes conceptuelles.



Figure 88 : Prototype de logiciel d'apprentissage collaboratif de Brainstorming

Durant l'utilisation du logiciel, les huit utilisateurs (deux par pupitres) réalisaient les différentes phases du jeu :

- édition de texte sur le tableau blanc (Figure 88 à droite) ;
- publication sur un espace commun ;
- regroupement des items dans six catégories (Figure 88 à gauche).

Afin d'évaluer cet apprentissage, une « quasi-expérience » unique incluant une procédure de pré-test et post-test avec groupes témoins a été menée. Les résultats obtenus (Schubert, 2012) n'ont pu amener qu'à des tendances. Aucune différence significative entre l'apprentissage avec et sans pupitres n'a été constatée.

IV.5.2 Création musicale assistée par interface tangible

Un stagiaire, étudiant INSA en Informatique, a réalisé un prototype de création musicale assisté par ordinateur (durée de stage de trois mois). Ce stage consistait en la conception et réalisation, d'un logiciel de création musicale de type échantillonneur. Un échantillonneur, connu sous l'anglicisme « sampler », est un instrument qui crée des échantillons à partir de plusieurs musiques ou sons et qui les assemble pour faire d'autres musiques ou sons.

Dans le prototype présenté, inspiré de la Reactable (Jordà et al., 2007) (Kaltenbrunner et al., 2006), il s'agissait de réaliser une musique électronique à partir d'échantillons musicaux courts mis en boucle et de filtres (fréquence, volumes..). Des créateurs d'objets musicaux sont présents et permettent la disposition d'échantillons et de filtres sur le pupitre. Les lecteurs musicaux sont associés aux échantillons musicaux et des filtres peuvent être associés aux lecteurs. Par ces configurations d'éléments musicaux, il est ainsi possible de réaliser un rythme musical. Les filtres ont des paramètres modifiables en fonction de leur orientation (par exemple l'amplification de la fréquence).

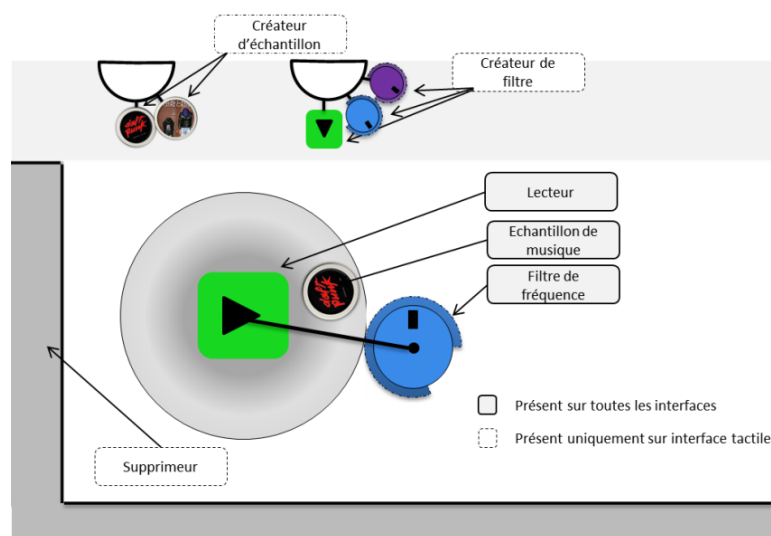


Figure 89 : Présentation du logiciel de MAO

Ce logiciel a été conçu dans une logique purement instrumentale et permet de choisir entre l'utilisation d'interface tangible ou d'objet purement numérique (style d'interaction paramétré par fichier de description).

Sa conception a été faite dans le but d'expérimenter **l'influence du nombre d'objets physiques** et du style d'interaction dans la réalisation de l'activité de création musicale. Nous avons choisi de réaliser, dans ce cadre, une expérience visant à vérifier l'efficacité et la facilité d'apprentissage de chacun des styles d'interactions et ainsi mettre en exergue leurs différences.

Cependant, le logiciel n'était pas suffisamment abouti pour être directement utilisable pour mener des expériences, et les autres priorités du projet ont empêché sa finition et son exploitation pour toute évaluation.

IV.5.3 Tangible Warhammer

Un projet d'étude a été réalisé par cinq étudiants de l'Ecole Centrale durant l'année 2012-2013. Ce projet visait l'utilisation d'interface tangible et proposait différentes techniques d'interaction réutilisables par la suite. Le jeu proposé s'inspire librement de Warhammer, jeu de stratégie sur table, dans lequel se confrontent deux armées.

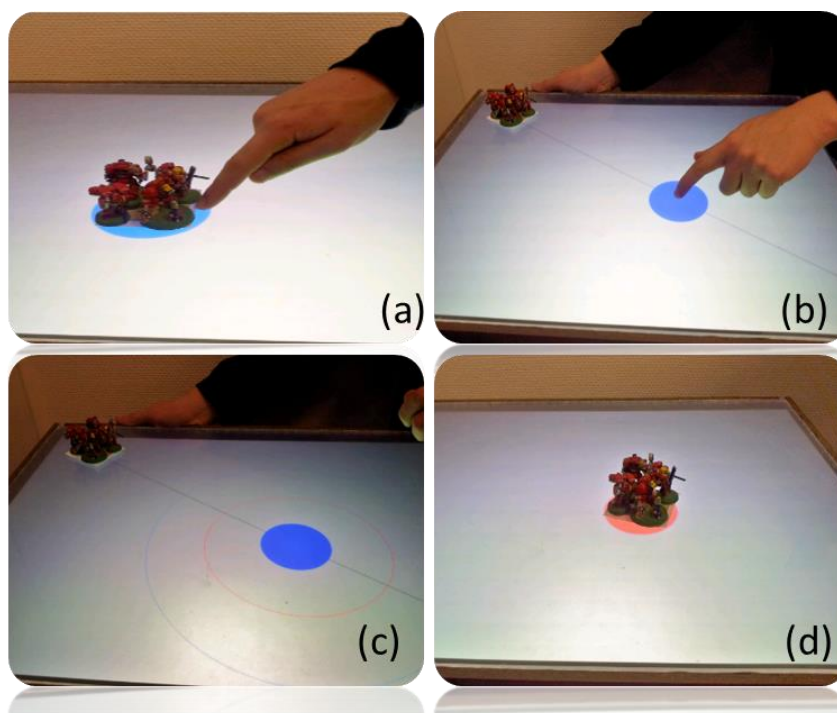


Figure 90 : Déplacement d'un bataillon de soldats dans Tangible Warhammer

Ces jeux de figurines utilisent principalement les déplacements et les attaques entre figurines (ou bataillons) pour détruire l'armée ennemie et ainsi gagner la partie. Les étudiants ont proposé et implémenté une technique d'interaction pour le déplacement et les attaques. Dans la Figure 90, les figurines sont sélectionnées (a), pré-déplacées (b) afin de permettre l'estimation de la portée de leurs actions futures (c) puis les utilisateurs déplacent les figurines de manière effective (d).

Les techniques proposées n'ont pu, faute de temps, être évaluées.

IV.6 Conclusion du chapitre

Le besoin formulé était de permettre des activités sur tables/postes de travail, et de permettre des activités mobiles sur des dispositifs mobiles. Pour cela, nous avons proposé des tables interactives que nous avons conçues : des prototypes de pupitres interactifs, ainsi qu'une solution pour pouvoir faire appel indifféremment à tout type de dispositif d'interaction (et ainsi pouvoir utiliser des dispositifs mobiles issus du commerce).

Nous avons, dans ce chapitre, essentiellement décrit la conception, la réalisation et l'utilisation de quatre pupitres, en partant des contraintes et besoins, de possibilités existantes, de spécifications et de mises en œuvre pour arriver à des exemples d'utilisation. Nous proposons d'utiliser une solution logicielle (TUIO) pour considérer indifféremment tout type de dispositif interactif et ainsi prendre en compte la mobilité et les techniques de contextualisation de la même manière que les interfaces tangibles.

Concernant les pupitres que nous avons réalisés, nous avons pu constater plusieurs limites, en particulier sur la qualité de netteté, la luminosité des objets et la distorsion de la caméra. Ces limites ont rendu difficiles :

- la reconnaissance de certains types d'objet (avec signature trop commune...)
- la reconnaissance des objets en zones périphériques (distorsion trop importante) ;

Le protocole de communication TUIO permet l'utilisation de dispositifs d'interactions. Il est donc possible de proposer des environnements intégrant des tables, des dispositifs mobiles ainsi que d'autres non prévus au moment du choix d'utilisation de ces pupitres.

Après de nombreux essais, nous avons considéré avoir atteint un niveau de maturité suffisant pour que les pupitres soient utilisables (voir Chapitre V). Mais ces pupitres interactifs ont également été utilisés pour trois autres projets (Collaborative Brainstorming Learning, Création musicale assistée par interface tangible, Tangible Warhammer). Ces projets ont été réalisés pour montrer l'intérêt des aspects tactiles, collaboratifs et tangibles. De ces projets, seulement deux d'entre eux ont pu être évalués. Le manque de temps et l'orientation prise sur la réalisation des jeux pédagogiques collaboratifs ont empêché l'amélioration des deux derniers prototypes et leur évaluation.

En synthèse, nous proposons des pupitres qui peuvent :

- être « assemblés » selon différentes configurations spatiales ;
- afficher des informations numériques ;
- détecter la présence de doigts touchant la surface du pupitre ;
- détecter des objets physiques placés sur le pupitre ;
- être utilisés à plusieurs (support d'activités collaboratives).

Malgré l'évolution très rapide dans le domaine, nous ne connaissons actuellement pas de modèle commercial réunissant l'ensemble de ces caractéristiques (et en particulier l'aspect modulable).

PARTIE II : JEUX PEDAGOGIQUES COLLABORATIFS SITUES : CONCEPTION et REALISATION

Dans cette seconde partie nous présentons d'abord une étude exploratoire portant sur les jeux, puis sur les jeux pédagogiques pour enfin parler des jeux pédagogiques collaboratifs situés.

Le travail présenté va plus loin qu'un simple état des lieux de l'existant : étant donné le caractère **pluridisciplinaire** de la conception de jeux, cette phase exploratoire vise à fournir une vision structurée afin d'y situer plus précisément nos travaux. Beaucoup de notions abordées dans cette partie ne font pas l'objet de définitions consensuelles dans les domaines qui les étudient, nous fournissons donc différents points de vue, puis nous précisons la définition retenue pour nos travaux.

Nous commençons notre étude par les jeux qui fournissent le **cadre motivationnel**. Ceux-ci ont aussi l'avantage d'avoir atteint un stade de maturité qui leur permet d'avoir déjà des **méthodes et des outils de conception** particulièrement avancés.

Les jeux pédagogiques sont quant à eux plus jeunes et souffrent d'un manque d'outil facilitant une prise en main rapide. Nous nous intéressons donc plus aux contenus produits dans le domaine du jeu pédagogique et aux méthodes pour faciliter la formalisation d'une idée de jeu pédagogique.

Nous parlons ensuite des spécificités des jeux pédagogiques collaboratifs situés, que ce soit au niveau de la prise en compte des environnements mixtes et des dynamiques collaboratives pouvant être mise en place ou encore de la manière dont nous mêlons contenus pédagogiques et activité ludique.

L'objectif de ces différentes études est de mettre en exergue certains points d'orgue à intégrer dans nos propres méthodes de conception de JPCS. Ainsi, l'objectif du chapitre V est de mettre en évidence les travaux sur lesquels s'appuient notre méthode de conception et les spécificités des milieux du jeu et du jeu d'apprentissage qui alimentent notre réflexion et nos propositions.

Une fois ceci réalisé, nous proposons dans le chapitre VI **six modèles** permettant de caractériser le **comportement fonctionnel** d'un JPCS. Ces différents modèles sont proposés avec un **modèle d'architecture** permettant leurs prises en compte. Enfin nous proposons une **méthode de conception** orientée vers ces modèles. Nous exposons aussi les **outils** que nous avons proposés puis utilisés pour permettre à la fois la production, l'utilisation et l'évaluation des JPCS.

Dans le chapitre VII, nous présentons un **cas d'application** concernant la conception itérative d'un JPCS dans le projet SEGAREM, lequel nous a procurés à la fois l'expérience nécessaire à la conceptualisation de cette méthode de conception et un terrain d'utilisation en fonction des avancées de la méthode de conception.

Chapitre V : Du jeu au jeu pédagogique collaboratif situé : Définitions, modèles et méthodes de conceptions

V.1	LES JEUX.....	113
V.1.1	Définition du jeu	113
V.1.2	Acteurs concernés.....	114
V.1.3	Motivations des joueurs.....	115
V.1.4	Mécaniques de jeux	118
V.1.5	Méthodes de conception des jeux	126
V.1.6	Modèles de Jeux	127
V.1.7	Outils d'aide à la conception des jeux	131
V.1.8	Synthèse sur les jeux	136
V.2	LE JEU PÉDAGOGIQUE	136
V.2.1	Jeu Sérieux et Ludification	136
V.2.2	Jeu d'apprentissage	139
V.2.3	Modèles de jeux pédagogiques.....	143
V.2.4	Méthodes de conception de jeux pédagogiques.....	149
V.3	JEUX PÉDAGOGIQUES COLLABORATIFS SITUÉS.....	154
V.3.1	Définition	154
V.3.2	Intégration du contenu pédagogique dans les éléments du JPCS	155
V.3.3	Aspects collaboratifs des JPCS	155
V.3.4	Méthode de conception d'un JPCS	158
V.4	CONCLUSION DU CHAPITRE	161

V.1 Les jeux

V.1.1 Définition du jeu

Dans le domaine du jeu, deux notions sont nécessaires pour comprendre ce qu'est un jeu. Caillois (Caillois, 1957) met en évidence dans ses propos la distinction dans le jeu entre ce qu'il appelle le « paidia » et le « ludus » (en grec) qui peut être traduit en anglais par « Game » et « Play ». En français, nous n'avons pas de termes dédiés. Ces termes sont en effet relatifs au terme « jeu ».

- Le « Paidia » (« Play ») fait référence **aux ressentis des joueurs, aux jeux libres et improvisés**. Le « paidia » permet d'exprimer le besoin de liberté, d'expressivité et d'improvisation ;
- Le « Ludus » (« Game ») est le support de l'activité, intégrant **des règles définissant l'activité et l'environnement de l'activité**. Le « ludus » décrit l'activité de jeu selon les règles de jeu, les buts et/ou résultats.

Le « game » correspond au jeu en tant qu'objet support de jeu et de comportement simulé et le « Play » est l'activité réalisée et le ressenti du joueur.

De nombreuses définitions du jeu existent, mais aucune ne semble faire de consensus. La définition de Caillois (Caillois, 1957) est marquante : « un jeu est une activité **libre**, incertaine, improductive, **réglée** et **fictive** (séparée de la réalité) ».

D'autres définitions du jeu ont été formulées par la suite :

- Prensky (Prensky, 2001) considère quant à lui un jeu comme un ensemble : d'amusement, d'implication, de règles, de buts, d'interactivité avec le système, d'interaction sociale, d'adaptation aux comportements des joueurs, de retour sur l'action, d'états de victoires, de compétition, de résolutions de problèmes, le tout cadré par une trame narrative.
- Salen (Salen et al., 2003) définit un jeu comme un système qui place le joueur dans un conflit artificiel, caractérisé par des règles et un résultat quantifiable.
- Juul (Juul, 2005) propose la définition suivante : « Un jeu est un système formel basé sur des **règles** donnant lieu à un **résultat quantifiable** variable. Ces variations de résultat sont associées à des valeurs différentes. Le joueur est donc émotionnellement attaché au résultat du jeu, et s'implique de manière à influencer le résultat produit. Cependant, les conséquences réelles d'une telle activité restent facultatives et négociables ».

À partir des différentes définitions influentes sur le jeu, nous avons réalisé un classement sur les caractéristiques les plus présentes pour définir un jeu :

- des règles limitant l'activité des joueurs (7 sur 8) ;
- des buts orientant les actions (5 sur 8) ;
- une activité, un processus ou un événement à réaliser (3 sur 8) ;
- un problème à résoudre (3 sur 8) ;
- des choix à réaliser (3 sur 8) ;
- le volontariat (l'utilisateur fait le choix de réaliser l'activité) (3 sur 8) ;
- le jeu est réalisé dans un cadre artificiel, sans incidence directe dans nos propres vies (3 sur 8) ;

Ces définitions générales du jeu ont été pensées pour tout type de jeu, et non spécifiquement pour ceux réalisés sur ordinateur (jeux-vidéo). L'utilisation de dispositifs interactifs implique certaines différences (Salen et al., 2003) :

- une interactivité immédiate ; avec possibilité d'utiliser des techniques d'interaction différentes demandant un apprentissage, une dextérité et une précision spécifiques ;
- une variété de présentation d'informations plus importante, avec possibilité d'avoir à la fois ou successivement des textes, images, animations, sons ;
- l'automatisation de systèmes complexes, avec à la fois possibilité de complexifier les règles du jeu et permettre aux joueurs de ne plus se soucier de la manière de modifier certains éléments dynamiques du jeu ne dépendant pas de ses propres actions ;
- la possibilité de constituer des réseaux de communication de très grande dimension ;

V.1.2 Acteurs concernés

Dans la communauté du jeu, les acteurs sont segmentés selon le type d'activité :

- les personnes au profil créatif qui conçoivent l'idée du jeu :
 - l'auteur écrit une intrigue narrative définissant le milieu imaginaire pour permettre suspens et motivation ;
 - le « game designer » (concepteur de jeu) utilise l'intrigue narrative pour déterminer les mécanismes de jeu, les règles à utiliser, les buts de jeu ainsi que les premières maquettes permettant de spécifier l'interface utilisateur. Le game designer rédige et

- maintient le « game design document », qui intègre tous les aspects (narratifs, graphiques, mécaniques, buts, etc.) du jeu et sert ainsi de référence aux autres équipes ;
- le « Level Designer » (concepteur de niveau), qui propose à un niveau plus fin des caractéristiques des environnements et décors qui peuplent le jeu ;
- les graphistes et compositeurs de musique créent le rendu graphique et l'ambiance sonore.
- les personnes au profil scientifique conçoivent l'objet du jeu à partir de l'idée du système à mettre en place :
 - les programmeurs fonctionnels qui s'occupent de la traduction de l'idée en solutions fonctionnelles ;
 - les programmeurs techniques chargés de la relation entre les solutions fonctionnelles proposées et la manière de les faire fonctionner.

Cette décomposition est fondamentale dans les étapes de conception d'un jeu. Généralement, les équipes sont relativement indépendantes et une rupture existe entre les deux sous-communautés. Bien que ce constat ne soit pas absolu, et que, de par l'intérêt commun porté généralement par l'ensemble de la communauté du jeu, les frontières ne soient pas aussi strictes que dans d'autres domaines.

V.1.3 Motivations des joueurs

V.1.3.1 Différents types de joueurs

La typologie de Bartle (Bartle, 1996) et le test associé permettent la classification des joueurs selon les aspects motivationnels des jeux (Figure 91).

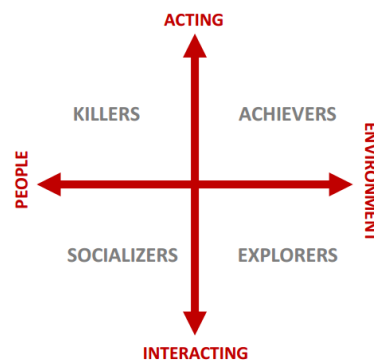


Figure 91 : Motivation des joueurs en fonction des différentes composantes d'un jeu

Un test proposant une trentaine de questions fermées permet de positionner les profils des joueurs selon deux axes : un axe en rapport avec l'aspect social (personne vs environnement) et un axe en rapport avec les types de relations que l'on veut entretenir avec les autres joueurs et l'environnement (action versus interaction). L'action se fait de manière unidirectionnelle alors que l'interaction est en rapport avec un échange entre les différents joueurs/entités. Il en résulte quatre types de profils :

1. **Le joueur social** (socializer) veut des relations avec les autres et la coopération. Il faut pour ce type de joueur des jeux multijoueurs et celui-ci s'engagera dans une réalisation de but à plusieurs (guildes, clans...) et aura finalement une faible connaissance des éléments de jeu. Sa motivation se base sur la connaissance des autres joueurs et non réellement sur le fait de gagner le jeu. Le socialisateur aime discuter, jouer un rôle, construire des

événements permettant les rencontres ;

2. **le compétiteur** (killer) cherche dans le jeu un moyen de se confronter aux autres par la réalisation de performance dans le jeu. Celui-ci va chercher à être le meilleur et à être reconnu par ses pairs vis-à-vis de son propre niveau. Sa motivation se base sur sa progression de niveau de jeu ainsi que ses victoires sur ses pairs d'un niveau équivalent ou supérieur. Ainsi le compétiteur cherche la compétition, l'action, le vertige (l'aléa), le pari, l'exploit, la dextérité ;
3. **l'explorateur** (explorer) aime découvrir l'environnement et connaître petit à petit ses composantes dans le moindre détail. Celui-ci, en plus de connaître parfaitement l'environnement de jeu, cherche à parcourir les différentes possibilités du scénario et de connaître l'ensemble des caractéristiques de l'histoire du jeu. Sa motivation se base sur l'existence de zones non explorées et de connaissances sur le jeu non apprises. Ainsi l'explorateur aime les grands espaces, les jeux de réflexion en rapport avec l'environnement, la théorie et la surprise de la découverte.
4. **l'acheveur** (achieveur) cherche avant tout à réaliser l'ensemble des différentes missions qui lui sont proposées. Il veut posséder tous les objets et avoir réalisé l'ensemble des possibilités du jeu. Sa motivation se base sur l'existence d'objet ou de mission non réalisée. Ainsi l'acheveur aime la collection d'objets, la construction, la réalisation de scores et l'optimisation.

Bartle (Bartle, 2003) ajoute un axe supplémentaire à son modèle d'origine (Figure 92), pour tenter de refléter plus fidèlement les motivations des joueurs et leurs évolutions d'un type à l'autre. Il ajoute la dimension « implicite/explicite » comme moyen de distinguer si le joueur accomplit un acte sans y penser ou intentionnellement. De cette manière, Bartle classe les joueurs en huit types, qui correspondent aux quatre types de joueurs précédemment cités et à cette nouvelle dimension.

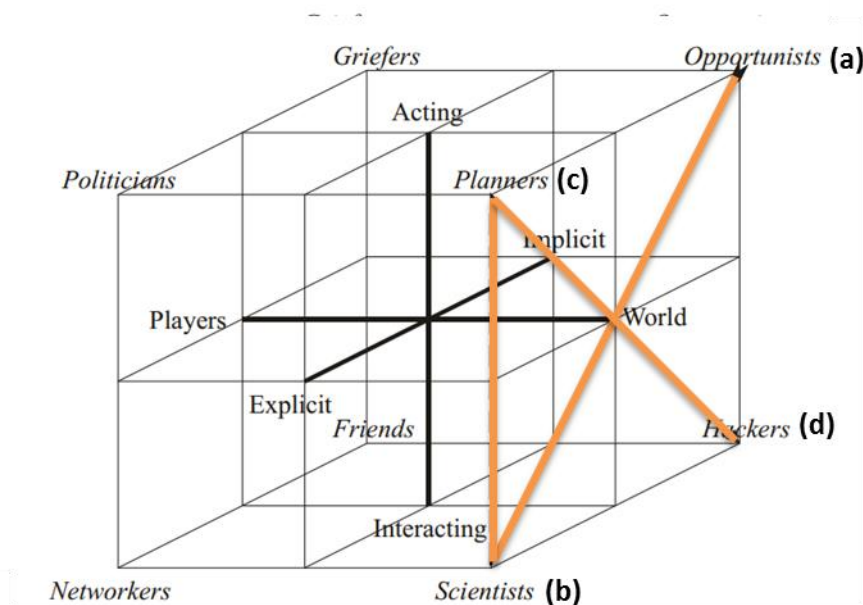


Figure 92 : Évolution générale des joueurs de type « explorateur »

Grâce à ce nouvel axe, il fait émerger des schémas d'évolutions classiques des joueurs. Par exemple, la séquence associée à l'explorateur est d'abord d'être opportuniste puis scientifique, puis planificateur et enfin bidouilleur. Le joueur va (Figure 92) :

- découvrir l'environnement sans but et sans le connaître (opportunistes) (a) ;
- comprendre l'environnement au travers d'action planifiée sur l'environnement (scientifique) (b) ;
- définir une série d'actions et les réaliser (planificateurs) (c) ;
- se situer dans une logique de création dans l'environnement (bidouilleur) (d).

D'autres séquences sont proposées dans (Bartle, 2003) et permettent de décrire les évolutions moins fréquentes des joueurs.

Pour augmenter la longévité d'un jeu multijoueurs, Bartle (Bartle, 2003) pense qu'il doit y avoir une répartition équilibrée des quatre types de joueurs. Il met ainsi en relation chaque catégorie en lien avec les autres afin d'aider les concepteurs de jeux à créer un « écosystème » durable.

V.1.3.2 Relation du joueur avec le jeu

Hunick et al. (Hunick et al., 2004) proposent une division de la relation « joueur-jeu » en trois niveaux distincts nommée MDA (Mechanics, Dynamics, Aesthetics) (Figure 93) :

- Les « mécaniques de jeu » (Mechanics), qui propose une description au niveau des « règles de jeu » ;
- Les « dynamiques de jeu » (Dynamics), qui propose une description au niveau de l'utilisation du jeu par le joueur ;
- L'« esthétique de jeu » (Aesthetics) qui propose une description du ressenti du joueur.

Grâce à ces trois niveaux, il est possible de définir les caractéristiques premières dans la relation des joueurs et des concepteurs avec le jeu :

- Le concepteur considère les mécaniques de jeu comme moyen de contrôler des dynamiques aux joueurs pour orienter son ressenti (esthétique) ;
- Le joueur se base sur son ressenti (esthétique) pour manipuler le jeu (dynamique) en comprenant petit à petit son fonctionnement (mécanique).

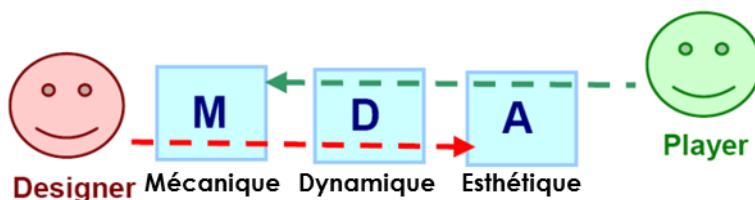


Figure 93 : Les approches croisées du joueur et du concepteur

V.1.3.3 Positionnement

Dans notre cas, pour des raisons pédagogiques, nous nous orientons vers la réalisation d'activités en équipe, avec différentes possibilités d'entraides des joueurs et de l'équipe de joueurs, la possibilité de compétitions entre équipes (ce qui plait aux profils sociaux et aux compétiteurs) avec un environnement à explorer (ce qui plait aux explorateurs).

Dans le cadre de cette thèse, nous nous concentrons uniquement sur le jeu « à mission » (Marfisi-Schottman, 2012) défini comme un jeu dans lequel le joueur **doit franchir un certain nombre d'étapes**. Ces étapes peuvent être successives ou parallèles et ne sont pas forcément obligatoires.

Nous définissons un jeu « à mission » comme une activité cadrée par des règles, structurée en scénarios et supportée par un environnement de jeu (fictionnel ou non).

Les jeux « à mission » regroupent les types de jeux définis par Prensky (Prensky, 2001) qui sont plus largement utilisés par les différentes communautés :

- **jeu d'aventure** dans lequel le joueur découvre des mondes, peut collecter des informations et des objets et mener à bien des quêtes ;
- **jeu de réflexion** dans lequel le joueur résout des énigmes de plus en plus difficiles ;
- **jeu de rôle** dans lequel le joueur est mis dans la peau d'un personnage et doit mener à bien une quête ;
- **jeu d'arcade et de simulations** dans lequel le joueur pilote une machine, un outil ou un système comme, par exemple, conduire une voiture ou piloter un avion ; le degré de réalisme du jeu séparant l'arcade de la simulation.

L'ensemble de ces jeux porte comme particularité commune l'utilisation d'un scénario. Mais, comme font remarquer Marais (Marais, 2012) et Djaouti (Djaouti, 2011) dans leurs thèses, il n'existe pas de classification de jeu se basant uniquement sur la structure scénaristique. D'autres caractéristiques sont à ajouter pour caractériser suffisamment un type de jeu.

Les caractéristiques principales d'un jeu à mission sont pour nous :

- **La structuration de l'activité de jeu, définie par le séquençage des buts du jeu, caractérisant le mode de désignation du ou des gagnant(s) ;**
- **Les mécaniques du jeu, correspondant au support des règles de jeu (l'environnement du jeu, les objets manipulés, les règles de jeu).**

Il est difficile dans le cadre d'une activité collaborative de permettre aux apprenants de faire et refaire le jeu tant qu'ils le veulent, permettant à l'acheveur de mieux satisfaire son besoin de multiplier les expériences de jeu. Une des possibilités est de proposer une suite ou une extension du jeu non réalisée, et laisser continuer les apprenants chez eux ou pendant une période creuse.

V.1.4 Mécaniques de jeux

Toute activité ludique implique des interactions avec des entités abstraites et/ou concrètes (Bruner, 1972). Les relations entre motivations et les éléments du jeu sont appelés mécaniques du jeu. Cook (Cook, 2006) définit les mécaniques du jeu comme étant « *le système basé sur les règles du jeu, qui facilite et encourage les joueurs d'explorer et apprendre le jeu en fonction des retours qu'ils perçoivent* ». Sicart (Sicart, 2008), selon une vision plus formelle : les mécaniques sont les méthodes proposées dans les agents du jeu pour fournir des interactions entre le joueur et l'état du jeu.

Les mécaniques du jeu décident généralement du cadre du jeu. Ces mécaniques sont une propriété attractive du jeu, un cadre objectif et non ambigu que les joueurs vont pouvoir exploiter pour progresser dans le jeu. Certaines caractéristiques sont déterminantes dans les mécaniques de jeu : **l'espace-temps, les entités présentes, les actions possibles, les règles, les compétences et le hasard.**

D'autres mécaniques de jeux existent tels que l'utilisation de système de points, de médailles ou encore un système de classement (avec affichage des plus hauts scores), mais nous ne détaillons pas leur utilisation ici.

Ces mécaniques permettent de définir quels éléments de jeu existent, leurs états, ce qui doit être fait (but) et les différentes actions réalisables. Nous détaillons ici chacune de ces caractéristiques.

V.1.4.1 Gameplay

Le « gameplay » anglicisme dont le français n'a pas d'équivalent, est défini comme « les éléments d'une expérience ludique, c'est-à-dire « le ressenti du joueur quand il utilise le jeu ».

Les éléments typiquement constitutifs du gameplay sont dépendants des genres de jeux, la classification des genres eux-mêmes souffrant d'un manque de taxonomie globale. Différentes taxonomies sont proposées, mais aucune ne recouvre tous les aspects des gameplays présents dans la culture ludique.

L'approche de Mariais (Mariais et al., 2011), issue de la société Symetrix, partenaire industriel du projet, est d'établir une classification des caractéristiques ludiques pour pouvoir déterminer dans quelles situations chacune d'elles peut être utilisée. Mariais (Mariais, 2012) propose des « ressorts de jeu », comme étant les caractéristiques déterminantes pour la réussite d'un jeu de rôle pédagogique. Notre démarche est de supporter l'ensemble de ces différentes caractéristiques dans nos dispositifs pédagogiques.








RESSORT		POUR LE CONCEPTEUR IL S'AGIT DE...
RESSORTS DE JEU		
Etre en compétition 	<i>Soi vs. les autres</i>	Mettre les participants en compétition en définissant un but précis à atteindre et les modalités de la victoire
Relever un défi individuel 	<i>Soi vs. Soi ou le système</i>	Proposer un challenge individuel aux participants en définissant un objectif personnel à atteindre avec un niveau de difficulté adapté
Jouer un rôle, être immergé dans une histoire 	Ou plus largement narration/fantasy (imagination)	Proposer aux participants des rôles à jouer
	<i>Soi vers autre soi, soi dans autre univers</i>	Définir un scénario narratif immersif dans lequel inscrire le scénario pédagogique Choisir un environnement d'exécution adapté au niveau d'immersion souhaité
Etre soumis au hasard 	Fortune, infortune, déstabilisation <i>Action du monde sur soi</i>	Laisser une place au hasard, à l'imprévu, créer du suspense dans le scénario
Perdre le contrôle (situation de crise, vertige) 	Etre soumis à une situation de crise , à une situation génératrice de vertige et de tensions <i>Action du monde sur soi</i>	Mettre les participants dans des situations de crise, leur faire perdre leurs repères habituels, les déstabiliser
AUTRES RESSORTS ASSOCIES		
Agir collectivement 	<i>Soi avec autrui</i>	Proposer des activités de groupes, faire interagir les participants, créer du lien
Etre reconnu 	<i>Autrui vers soi</i>	Valoriser et faire partager les activités de chacun, montrer aux participants que leurs actions ont un effet et sont prises en compte, permettre une personnalisation du personnage et/ou de l'environnement.

Figure 94 : Guide des ressorts pédagogiques (Mariais, 2012)

Les ressorts ludiques proposés sont quasi exclusivement en rapport avec les interactions sociales (soi, les autres et l'environnement). Les principaux ressorts ludiques sont d'être en compétition, de devoir relever un défi, le fait de jouer un rôle, d'être soumis au hasard et de perdre le contrôle (d'être dans une situation de crise). Elle propose en plus de cette liste de ressorts, différents moyens de les utiliser (Figure 94).

À un grain plus fin, Mariais (Mariais et al., 2010) décline des mécaniques de jeu. Ces mécaniques de jeu sont également des propriétés attractives du jeu, qui définissent un cadre objectif et non ambigu que les joueurs vont exploiter pour progresser dans le jeu. Nous pouvons noter que la corrélation entre les ressorts ludiques et les mécaniques ludiques n'a pas été réalisée par les auteurs, et que ce travail semble être nécessaire pour améliorer les choix de conception sur les jeux pédagogiques.

Dans cette liste de mécaniques de jeu, nous avons sélectionné celles qui sont pour nous déterminantes :

- L'évolution (du personnage, de l'environnement avec passage de niveaux, récompenses, etc.) ;
- L'alignement, le positionnement ;
- Le blocage, l'obstruction ;
- Le bluff ;
- La déduction ;
- La diplomatie, l'échange, le négoce ;
- La programmation/planification ;
- Le parcours (ex. Monopoly, jeu de l'oie) ;
- La vitesse, les réflexes ;
- L'agilité, l'adresse ;
- L'optimisation, la maîtrise des règles ;
- La reproduction, l'imitation (Tangram, puzzle...).

Un travail de recherche, assez proche de celui réalisé par Djaouti (Djaouti, 2011) pourrait être fait pour comprendre l'influence du choix de chacune de ces caractéristiques ludiques dans la conception d'un jeu.

V.1.4.2 L'espace-temps

■ Les espaces du jeu

La présence de profil de types explorateur et collectionneur nous suggère la réalisation de jeux dans des environnements variés pour les motiver. En fonction des différents jeux, de nombreux types d'environnements sont utilisés. Il est possible d'associer le type d'environnement utilisé en fonction du besoin d'immersion des joueurs dans le jeu.

Les environnements de jeu sont généralement dans des environnements de dimensions 0, 2 ou 3. La perception de l'environnement peut faire évoluer ce nombre.

Certains jeux, comme par exemple les jeux de questions-réponses peuvent être considérés comme étant de dimension 0, contenant la question et la réponse, sans aucune relation de distance.

La plupart des jeux se plaçant dans un environnement a d'abord été proposé en deux dimensions, puis avec l'émergence des nouvelles technologies graphiques on passe en trois dimensions.

Pour l'ensemble de ces jeux, il est possible de jouer sur la perception de l'utilisateur de l'environnement : la 3D isométrique (2,5 D) a permis d'ajouter la perception d'une troisième dimension à un environnement virtuel en deux dimensions et ainsi augmenté le degré de réalisme de l'environnement. De la même manière, il est possible, telle une projection scalaire en mathématique, de supprimer la perception d'une des dimensions du jeu (technique utilisée pour permettre la visualisation de cartes facilitant l'exploration de l'espace).

Il existe donc une différence entre la perception d'un environnement et la structuration de cet environnement. En effet, bien que l'utilisateur perçoive un jeu d'échec et un jeu de Monopoly comme des jeux en deux dimensions, ceux-ci ont une différence fondamentale :

- le Monopoly est un jeu en une seule dimension, correspondant à une succession de quarante zones connectées les unes aux autres (avec le dernier élément relié au premier) ;
- le jeu d'échec est quant à lui un jeu en deux dimensions, correspondant à une grille de huit par huit éléments, avec une relation de proximité entre les différents éléments du jeu dépendante de leur frontière commune ;

Il est aussi possible de distinguer deux types d'environnements spatiaux de jeux : les environnements discrets et les environnements continus (Yannakakis, 2004). Les jeux d'échecs et du Monopoly sont tous deux réalisés en environnements discrets alors que le jeu de billard et les jeux de tir à la première personne sont des jeux en dimensions continues.

L'utilisation de ces dimensions de jeu constitue un invariant utilisable pour la constitution d'un environnement de jeu.

■ Temporalité du jeu

Il est souvent difficile de parler d'espace sans parler de temps dans les simulations informatiques. Dans un jeu, il est possible de limiter l'activité humaine. Ces limitations temporelles permettent de faire la différence entre les jeux au **tour par tour** et les **jeux temps-réel**. Nous parlons par la suite de **dynamique** du jeu comme de la description élémentaire de l'aspect temporel du jeu (et la dynamique de l'objet pouvant permettre sa réalisation).

Concernant la dynamique du jeu, différentes possibilités sont discriminées :

- un seul joueur joue en même temps, par système de tour par tour,
 - avec un sens déterminé à l'avance (un ordre est prédéterminé puis gardé pour l'étape du jeu) ;
 - avec un ordre changeant ;
- tout le monde joue en même temps,
 - sans dépendance des actions des autres joueurs ;
 - avec dépendance des actions des autres joueurs ;
- un système hybride, avec un environnement fonctionnant en temps réel, mais avec notion de tour, symbolisant le temps minimum entre chaque action.

Ces différents types de dynamiques correspondent à des mécaniques de jeux différentes : les jeux au tour par tour permettent aux joueurs de moins se soucier de la rapidité de la réaction, alors que les jeux temps réels s'orientent sur des mécaniques de jeu portées sur la rapidité de prise de décisions, les réflexes ou encore l'exécution des actions. Selon l'utilité du jeu et les mécaniques recherchées, il est plus intéressant de choisir un type de dynamique ou un autre.

Dernièrement, le tour par tour pur disparaît au profit de jeux dits en temps réel, avec une dynamique de temps d'action. Pour réaliser des jeux et en particulier des jeux pédagogiques, la dynamique de tour par tour semble être une mécanique à conserver, même si

l'environnement est en temps réel (l'utilisation de pause active ou de temps de chargement d'une action est alors présent dans le jeu).

V.1.4.3 Les entités du jeu

Les éléments constitutifs de l'environnement de jeu sont les « objets de jeu ». Ces objets de jeu sont des entités interactives, qui permettent la réalisation du comportement logique du jeu, à partir de tâches réalisées ou des comportements prédéterminés. Nous discriminons différents types d'entités : l'espace du jeu et les entités du jeu.

L'espace constitue un premier niveau de description d'un jeu. En décrivant l'espace de jeu, la structure topologique de celui-ci est définie. Cependant, un espace seul n'est pas suffisant pour définir la réalisation d'un jeu : il est nécessaire de peupler l'espace de jeu de différents éléments qui vont permettre la réalisation d'activités.

Les entités du jeu contiennent les personnages du jeu (avatars), objets manipulables et autres outils qui permettent la réalisation du jeu. Ces différents objets possèdent des attributs (propriétés) qui renseignent sur l'état de l'objet à un moment donné.

Les occupants d'un espace de jeu peuvent être :

- Modifiable ou non ;
- Passif ou actif ;
- Contrôlable directement par un joueur ou un PNJ (personnage non-joueur).

Ces différences permettent de séparer les lieux du jeu des personnages, objets interactifs et outils.

V.1.4.4 Règles de jeu

Les règles imposent des limites pour forcer les utilisateurs à agir dans un cadre d'action pour atteindre les buts du jeu. Celles-ci définissent l'ensemble des possibilités d'action du jeu et donnent du sens à l'action du joueur.

Les règles données aux joueurs doivent être selon Béville (Béville, 1986) **simples, claires, courtes et compréhensibles par un non-initié**. Elles sont **accessibles** et **polyvalentes**. La polyvalence des règles s'exerce en prenant en compte la difficulté, l'âge, le nombre de joueurs, les supports et le temps.

L'utilisation du terme « règle » dans le contexte du jeu n'a pas le même sens que dans la plupart des contextes informatiques : il correspond à un moyen de cadrer l'activité des joueurs et non pas à la relation d'inférence « A implique B » utilisée dans les contextes formels. Pour ne pas confondre les deux sens, nous précisons par la suite à chaque fois « règle de jeu ».

Afin d'inclure ces règles dans le jeu, Juul (Juul, 2005) distingue deux types de structurations des règles de jeu :

- la structuration **par émergence** lorsque les défis interviennent indirectement via les règles du jeu, sans aucune séquentialité définie ;
- La structuration **par progression** qui mène à une structure de jeu linéaire, dans lequel le joueur progresse dans un enchaînement de défis.

Cette différenciation nous semble intéressante de manière à faire une séparation entre la **structuration de l'activité** et la **description de l'environnement et de son évolution**.

Parlett (Parlett, 2005) a proposé une taxonomie des règles de jeux (Figure 95) et sépare ainsi les règles **données aux joueurs** de celles qui décrivent le **comportement du jeu** et enfin celles qui correspondent à un **savoir-faire du joueur**.

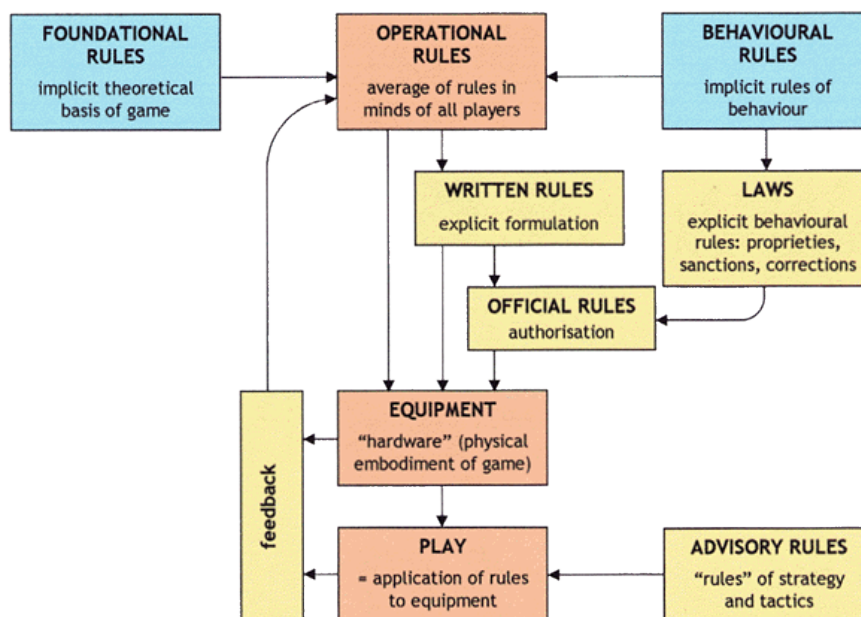


Figure 95 : Les différents types de règles de jeu (Parlett, 2005)

Dans notre situation, nous nous intéressons aux règles qui définissent le comportement du jeu. Ainsi, dans la classification de Parlett (Parlett, 2005), trois types de règles nous semblent intéressantes pour décrire les composantes nécessaires à la production du jeu :

- Les règles **fondamentales** qui expliquent l'objectif général du jeu ainsi qu'une manière abstraite d'atteindre ce résultat. L'objectif est appelé « But du jeu » et peut être connecté aux actions à réaliser par les règles opérationnelles ;
- Les règles **opérationnelles** correspondent aux limitations des actions des joueurs dans le jeu ;
- Les règles de **support**, qui permettent de déterminer les objets physiques utilisés.

Les règles permettent de créer un cadre d'activités juste entre participants (dans le cadre de compétition par exemple) et permettent d'équilibrer le jeu. Dans les jeux non médiatisés, ces règles sont gérées par les joueurs et même dans certains cas, un joueur particulier, appelé « Maître du jeu », est désigné et gère le fonctionnement et le déroulement du jeu.

■ Règles fondamentales : buts du jeu et structuration séquencée de l'activité

Un jeu « à mission » est constitué d'une ou plusieurs activités réalisées pour atteindre un but de jeu. Chacune des activités peut-être décomposée en sous activité. Le joueur doit comprendre (au moins en partie) la structuration des activités pour connaître ses objectifs et les possibilités qu'il a pour réaliser l'activité.

Pour proposer aux joueurs un objectif, un but est proposé. **Un but est un ensemble d'états voulus**. L'**atteinte d'un but** est la **correspondance** entre **état voulu** et **état effectif** (adapté de Norman, 1986) (la définition, plus complexe parle plutôt d'état perçu, mais nous partons du principe que l'état effectif et l'état perçu sont les mêmes). Ainsi, les buts du jeu sont exhibés comme des états voulus et à atteindre par le joueur ou l'équipe de joueurs.

Ainsi, les différentes phases du jeu proposent un/plusieurs but(s) et des actions/informations à réaliser pour atteindre ce/ces but(s). Les expériences passées, des connaissances déjà apprises et des capacités d'abstraction sont alors utilisées.

Il est possible, en fonction du jeu, de définir plus précisément une activité en fonction :

- des actions (les tâches) déterminées et explicitées aux joueurs ;
- des joueurs qui doivent trouver (de manière indépendante ou grâce à certaines aides) quelles sont les activités à réaliser pour permettre d'atteindre le but du jeu.

Ainsi, les jeux proposent des activités libres, semi-libres ou imposées.

L'ensemble de ces caractéristiques nous amène à considérer le jeu comme **un ensemble d'activités**. La notion de scénario permet de décrire la temporalité existante entre différents buts à atteindre avec l'utilisation de descripteurs temporels (ou, et, puis...)

■ Règles opérationnelles et actions du jeu

Les actions du jeu sont les opérations qui peuvent être réalisées par les joueurs durant le jeu. Ces actions peuvent être décrites abstraitement (à quoi servent-elles) et concrètement (comment sont-elles faites).

Ces deux perceptives permettent de répondre respectivement aux questions « qu'est-ce que ce joueur peut faire ? » et « comment le joueur peut les faire ». Deux types d'actions sont possibles : des actions opérationnelles et des actions résultantes. Le joueur réalise les actions opérationnelles pour atteindre le but du jeu, alors que les actions résultantes visent à vérifier que les actions opérationnelles ont eu les conséquences attendues.

Les actions résultantes sont très fréquemment associées à la stratégie de réalisation de l'action, et non directement aux buts du jeu. La mise en place d'une stratégie peut être améliorée par l'expérience de la réalisation antérieure du jeu.

Il est nécessaire d'offrir aux joueurs une variété suffisante d'actions potentiellement réalisables sur un grand nombre d'objets. Les buts du jeu peuvent être atteints par différents moyens afin de laisser le choix aux joueurs.

V.1.4.5 L'environnement fictionnel du jeu

La plupart des jeux ont un univers fictionnel supportant l'activité, existant sous forme d'un ensemble cohérent de graphismes, de sons, de textes et qui peuvent avoir un impact direct sur les règles du jeu. Lorsque l'on parle d'univers fictionnel, l'on parle d'un environnement fictif dans lequel le joueur est immergé. Cet univers reprend les références historiques, mythologiques et fantastiques, ou encore des scénarios. Il existe bien souvent une interdépendance entre le monde fictionnel et les règles de jeu, ou les règles influent sur le monde et le monde influe sur les règles.

La prise en compte de l'univers fictionnel dans l'environnement de jeu est primordiale. Ce monde fictionnel, ou « background » est une propriété attractive forte d'un jeu : l'univers fictionnel est subjectif, ambigu et prêt à de nombreuses interprétations et discussions (Malone, 1980). Cet univers a une incidence sur l'ensemble des caractéristiques fictionnelles du jeu, son environnement, son intrigue et sa trame scénaristique, et est très important pour l'expérience du joueur.

L'utilisation d'environnements fictionnels ne correspond pas directement à un aspect fonctionnel du jeu, cependant le choix d'un thème fictionnel influe sur les comportements des

entités du jeu ainsi que du style de présentation de chacune des entités du jeu. Bien que nous n'utilisions pas cette caractéristique du jeu directement dans nos choix méthodologiques de conception du jeu, nous pointons tout de même l'intérêt du choix d'un thème fictionnel adapté au type de jeu voulu.

V.1.4.6 Synthèse des mécaniques évoquées

Nous proposons dans le Tableau 4 une classification des différents ressorts (en gras) et mécaniques de jeu selon leurs principales composantes.

Orienté vers les autres	Être en compétition Agir collectivement Être reconnu Le bluff la diplomatie l'échange le négoce
Orienté vers le personnage de jeu	L'évolution du personnage
Orienté vers l'action	Relever un défi Les buts du jeu La vitesse, les réflexes L'agilité, l'adresse
Orienté vers la réflexion	Jouer un rôle L'alignement, le positionnement Le blocage, La déduction l'obstruction La programmation/planification L'optimisation, la maîtrise des règles La reproduction, l'imitation
Orienté vers l'environnement de jeu	Perdre le contrôle Être soumis au hasard L'espace-temps L'environnement fictionnel L'évolution de l'environnement Le parcours (ex. Monopoly, jeu de l'oie)

Tableau 4 : Classement des mécaniques et ressorts ludiques selon leur principale composante

Nous n'avons pas pu prendre en compte l'ensemble de ces caractéristiques car pour cela, il nous faudrait pouvoir trouver une homogénéité entre les différentes mécaniques, ce qui n'a pas pu être fait dans le temps imparti.

V.1.5 Méthodes de conception des jeux

V.1.5.1 Le processus de Crawford

Crawford (Crawford, 1982) propose un ouvrage sur les étapes du processus de conception d'un jeu. Ce processus est particulièrement innovant dans le sens, où il intègre l'ensemble des activités à réaliser entre le moment de l'idée de création du jeu jusqu'à son utilisation par les utilisateurs finaux. Ainsi différentes étapes sont prévues :

- définition d'un thème et d'un objectif ;
- préparation de l'univers dans lequel les joueurs vont s'immerger ;
- spécification des interactions utilisées (on parle de Game Play dans le domaine du jeu) ;
- définition de la structure du jeu ;
- structuration du programme (architecture logicielle...) ;
- évaluation de la cohérence entre les trois aspects de la phase de conception ;
- rédaction d'un cahier des charges (appelé « Game Design Document ») ;
- développement du jeu à proprement parlé ;
- test pour limiter les défauts présents ;
- entretien et évolution du jeu, après sa sortie dans le commerce.

On note que l'auteur insiste sur la non-temporalité des étapes du processus en tant que telles, avec des adaptations possibles en fonction des forces en présence et du contexte de conception. Un aller-retour permanent entre les différentes phases du projet est très souvent nécessaire. Depuis (Crawford, 2003), l'ouvrage ne contient d'ailleurs plus ces différentes étapes, considérées par l'auteur comme trop caricaturales.

V.1.5.2 Le processus de Pardew

Pardew (Pardew et al., 2004) propose à son tour un modèle (Figure 96) précisant les étapes dans le processus de conception d'un jeu.

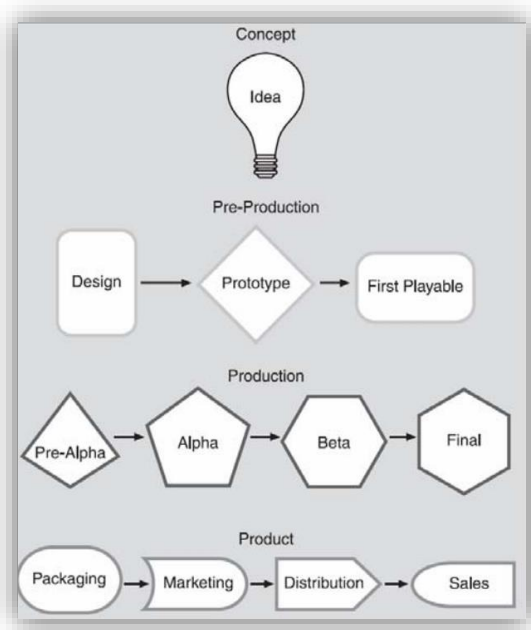


Figure 96 : Cycle de conception : du concept à la livraison

Il structure son processus en quatre étapes distinctes :

- l'émergence du concept pour définir le concept du jeu ;
- la pré-production inclut la phase de formalisation des spécifications jusqu'au prototype fonctionnel ;
- la production comprend la réalisation de différentes versions du jeu pour atteindre petit à petit de plus en plus de maturité ;
- la distribution (product en anglais) comprend la réalisation du packaging, le marketing, la distribution jusqu'à la vente du produit.

V.1.6 Modèles de Jeux

V.1.6.1 Les moteurs de jeu

Les moteurs de jeu (à ne pas confondre avec les moteurs graphiques de jeu) sont des systèmes, voire des systèmes de systèmes permettant l'exécution d'un jeu préconfiguré (Gregory et al., 2009).

La distinction conceptuelle entre un jeu et un moteur de jeu réside dans l'objectif même de la conception : un jeu ou un type de jeu. Le terme « moteur de jeu » est associé aux logiciels utilisables comme base à de nombreux jeux, permettant un cœur commun à l'ensemble des jeux créés. Ainsi, la limite entre jeu et moteur de jeu n'est pas forcément définie pour les concepteurs (Gregory et al., 2009), dans la mesure où ils produisent très souvent des outils pour permettre la réalisation des jeux. Pour distinguer plusieurs cas de figure, Gregory propose un continuum des possibilités de moteurs de jeu pour séparer le jeu du moteur de jeu (Figure 97). D'un côté, nous avons le système qui ne peut être utilisé que dans un seul cas, de l'autre, un moteur capable d'exécuter n'importe quel jeu, avec une difficulté croissante en fonction de la généralité.

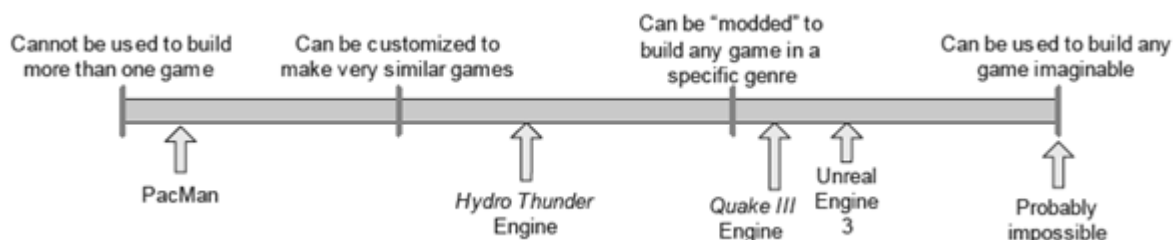


Figure 97 : Continuum de réutilisabilité d'un moteur de jeu (Gregory et al., 2009)

Dans notre cas, l'idée d'avoir un moteur de jeu correspond à une solution informatique qui permette de supporter la production de différents jeux. Nous proposons ici six architectures de moteurs connues dans le domaine du jeu et pouvant être utilisées comme source d'inspiration pour nos travaux.

V.1.6.2 Modèle de Doherty

Doherty (Doherty, 2003) propose une architecture de jeu (Figure 98), en espérant que ce type d'architecture serait plus souvent proposé par le futur, car la littérature sur le développement de jeux montre des lacunes dans les architectures de haut niveau. Les différentes propositions réalisées dans le domaine du jeu se focalisent principalement sur les considérations dites de bas-niveau telles que la prise en compte des graphiques ou des lois physiques.

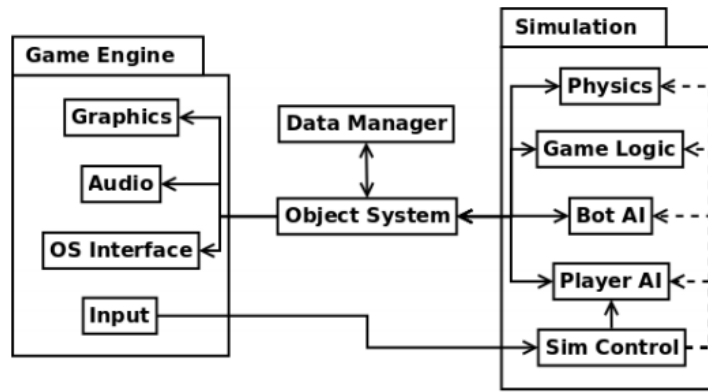


Figure 98 : Architecture proposée par Doherty (Doherty, 2003)

Cette architecture est basée sur quatre composants principaux :

- le « moteur de jeu », est associé aux interfaces utilisateurs ;
- la simulation est l'environnement, les règles, les comportements et les interactions entre objets du jeu ;
- le gestionnaire d'objet ;
- le gestionnaire d'information.

Une des caractéristiques de cette architecture est d'être centrée sur les données pour gérer la cohérence des informations. De cette architecture, une séparation entre noyau fonctionnel, support logique de l'application et interface est réalisée. Aussi, si la gestion des informations se fait classiquement dans la partie noyau fonctionnelle, à une extrémité du modèle, ici les objets conceptuels sont au centre du modèle.

V.1.6.3 Modèle de Plummer

Plummer (Plummer, 2004) analyse deux grands jeux : StarCraft (Blizzard, 1998) et Unreal Tournament (Epic Entertainment, 1999) et leurs prérequis fonctionnels. À partir de cette analyse, Plummer propose une architecture (Figure 99) permettant de supporter différents jeux en identifiant l'aspect paramétrable et l'indépendance forte des composants d'un moteur générique. Il propose ainsi une architecture comme un « système de systèmes », permettant la construction de différents jeux.

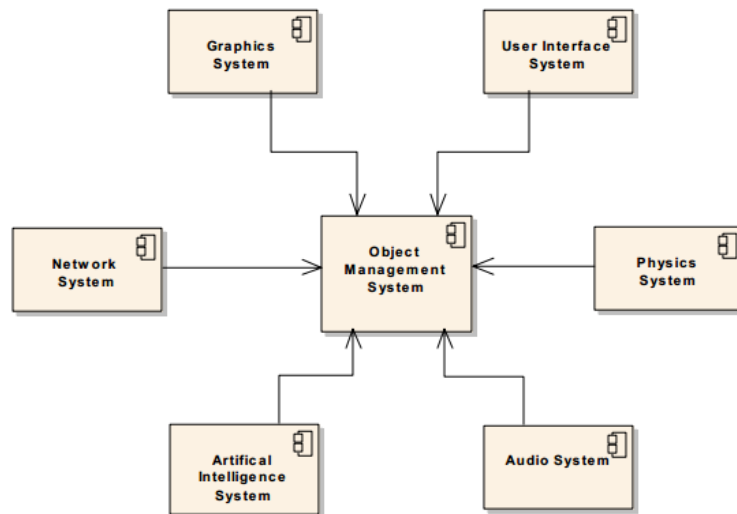


Figure 99 : Modèle de Plummer (Plummer, 2004)

L'utilisation combinée d'une logique centrée sur les données et d'une logique de composant est saillante. Les différents composants communiquent avec un composant central qui partage les données du jeu. Les composants sont vus comme un système complexe et indépendant qui permet de fournir une solution à un aspect particulier du jeu. Cependant, ce type d'architecture manque d'homogénéité : les services techniques et fonctionnels sont au même niveau hiérarchique (le système de communication et l'intelligence artificielle par exemple).

Plummer (Plummer, 2004) constate que dans un souci constant de performances, nombre de moteurs ont créé des dépendances fortes entre ces différents domaines. Par exemple, le système de collision (« la physique » du jeu) est souvent intégré au système de rendu graphique, évitant ainsi de surcharger les communications entre modules. La performance n'est pas en soi un critère de qualité dans la conception d'un moteur, les opérations les plus complexes (et « gourmandes ») devant être effectuées par les sous-systèmes spécialisés. Par exemple, la boucle graphique dessinant 10 millions de polygones d'un objet est bien plus coûteuse en terme de performance que la communication demandant au système graphique de le dessiner. Il ne s'agit pas de considérer que la performance n'est pas importante, mais que dans la conception d'un « système de systèmes » elle est de priorité moindre que sa flexibilité et son extensibilité.

Nous retenons de ce modèle l'utilisation d'un composant central qui permet la gestion de l'ensemble des objets du jeu.

V.1.6.4 Modèle de Westera

Westera (Westera et al., 2008) propose lui aussi un modèle d'architecture de jeu (Figure 100). Ce modèle inclut quatre parties interconnectées :

- le créateur des lieux de réalisation du jeu, qui permet de définir la structure topologique du jeu ;
- le créateur des objets du jeu, qui permet la création des objets du jeu et de leurs attributs ;
- le créateur des rôles, qui définit le but des joueurs, les différentes tâches possibles ;
- le créateur du scénario, qui permet de définir la séquence des différentes missions, ainsi que les prérequis pour clore une étape du jeu ;
- une gestion des états en cours, qui permet de connaître les états du jeu à tout moment, l'état des différents lieux, les différents objets du jeu et les différents personnages du jeu.

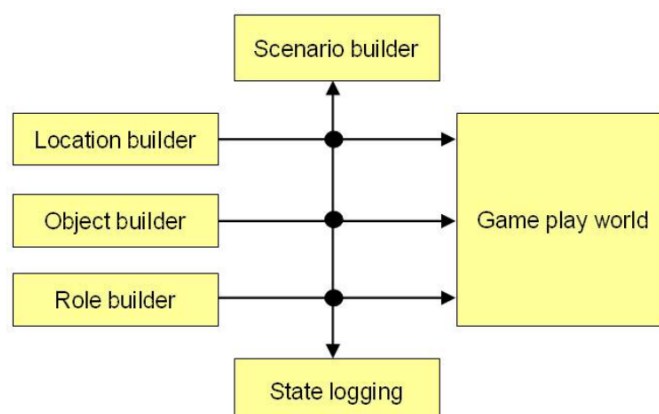


Figure 100 : Le modèle de Westera (Westera et al., 2008)

Ce modèle pédagogique est en accord avec notre vision des éléments majeurs d'un jeu. Le fait d'avoir un scénario, des emplacements de jeu, des objets du jeu et des rôles de joueurs instanciés dans un monde de jeu correspond tout à fait à notre vision du modèle comportemental du jeu.

V.1.6.5 Modèle de Gregory

Afin de produire un moteur de jeu intégralement générique, Gregory (Gregory et al., 2009) propose un modèle d'architecture (Figure 101). Dans ce modèle, on distingue plusieurs macro-niveaux :

- Le premier niveau concerne les « ressources », s'occupant de l'exécution bas niveau ainsi que de la gestion des contenus (images, sons ...) ;
- Le second concerne le rendu bas-niveau, l'animation, la gestion de la physique, et la fondation du Gameplay. La structuration en couche y est moins stricte, par exemple la gestion de l'animation des squelettes « déborde » sur celle du rendu bas niveau, des physiques ainsi que celle des systèmes de script ;
- Enfin, les couches supérieures concernent les aspects comportementaux du jeu comme l'intelligence artificielle, les mécaniques de jeu, les objets.

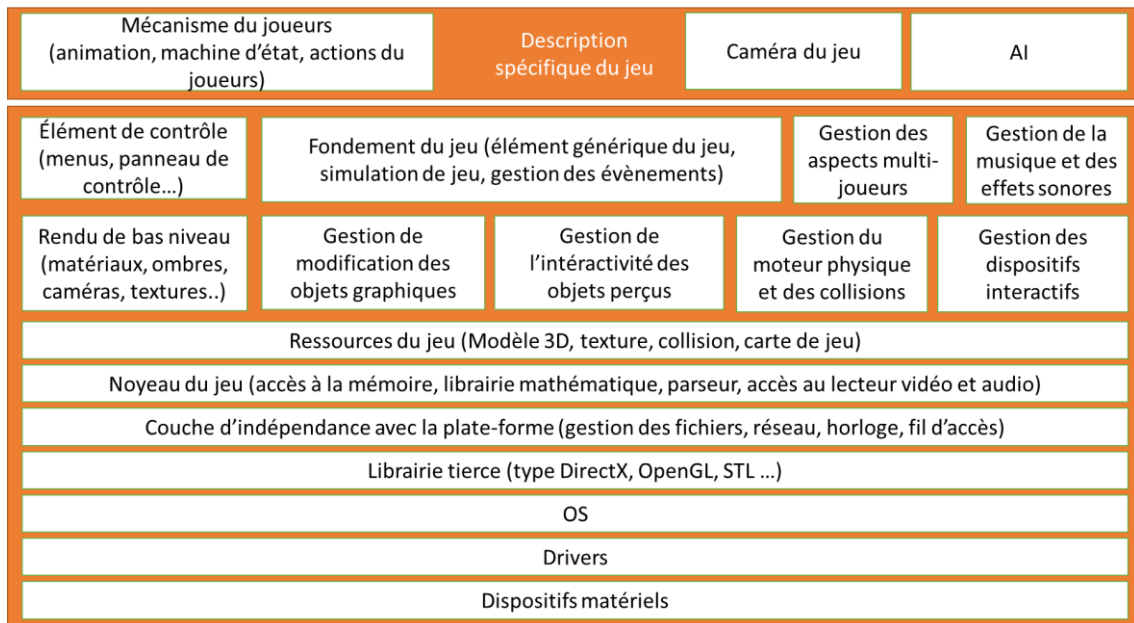


Figure 101 : Modèle de Gregory (Gregory et al., 2009)

Le but de ce modèle est d'avoir une grande indépendance entre les aspects fonctionnels et les aspects techniques, dans le but d'offrir un cadre de travail propice à tout type de jeu.

Nous retenons de ce modèle qu'il est difficile de proposer une architecture homogène pouvant inclure toutes les considérations nécessaires au fonctionnement d'un jeu. Cependant, les auteurs de ce modèle ont fait un effort important pour proposer une description complète des composants de jeu, avec prise en compte de manière séparée de besoins techniques et fonctionnels.

V.1.6.6 Modèle de McShaffry

McShaffry (McShaffry et al., 2012) propose un manuel de référence dans le domaine du jeu : *Game Coding Complete*. Dans celui-ci, il propose un modèle (Figure 102) structuré en trois parties :

- une couche associée à l'interface, les affichages des menus, des sons ;
- une couche associée à la partie fonctionnelle avec l'environnement de jeu (son état et les comportements régissant son état) ;
- une couche associée à la partie technique avec les bibliothèques graphiques, réseau, physiques.

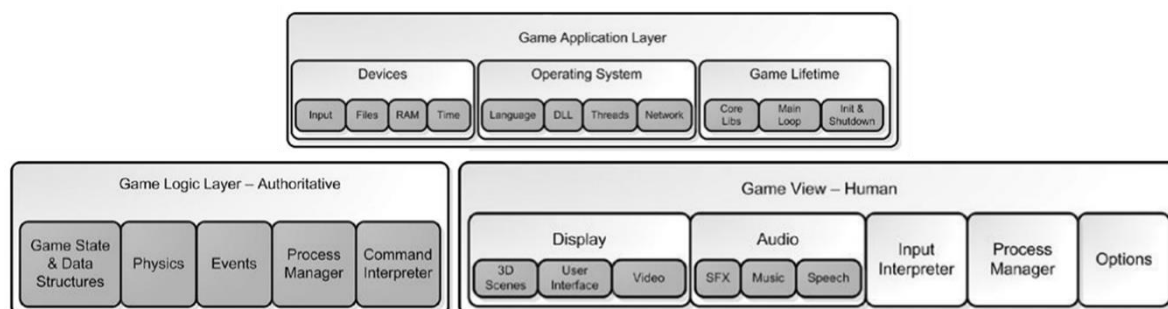


Figure 102 : Modèle de McShaffry (McShaffry et al., 2012)

La description de la couche liée à la logique de jeu dans cette architecture est intéressante, car elle met en avant la structure et l'état du jeu comme un des éléments fondamentaux du comportement du jeu, ainsi que l'utilisation d'un gestionnaire de processus, pour mettre en priorité certaines actions par rapport à d'autres.

Concernant la structuration, nous considérons que les besoins techniques ne sont pas à positionner au même niveau que les besoins fonctionnels.

Notre solution (Chapitre 6) se base sur une architecture fonctionnelle supportant l'exécution d'un jeu et différents modèles décrivant le comportement du jeu

V.1.7 Outils d'aide à la conception des jeux

Deux types d'outils sont utilisés par les profils créatifs pour ne pas avoir à réellement développer leurs jeux :

- des usines à jeux qui désignent les outils permettant de créer des jeux vidéo de manière autonome ;
- des outils de « modding » pour modifier des jeux existants. Les possibilités de modification ont évolué pour proposer une large palette de modifications possibles.

V.1.7.1 Les usines à jeux

Les usines à jeux sont des outils de création de jeux qui, après génération du jeu, ne sont plus nécessaires à son fonctionnement. Ils fournissent divers outils tels que des éditeurs de contenu (graphismes, niveaux, avatars, etc.) et de règles permettant de créer plus rapidement des jeux vidéos. De nombreuses usines à jeux spécialisées existent et sont largement utilisées par les game designers amateurs désireux de se lancer dans la création d'un jeu d'un type spécifique.

■ Gamemaker

Pionnier en la matière, Gamemaker (Activision, 1985) permet de créer une grande variété de jeux, notamment grâce à un éditeur de règles sous forme de langage de programmation simple ainsi qu'un éditeur de niveaux sous forme d'interfaces textuelles, utilisant un langage de script pour la description des comportements (Figure 103).

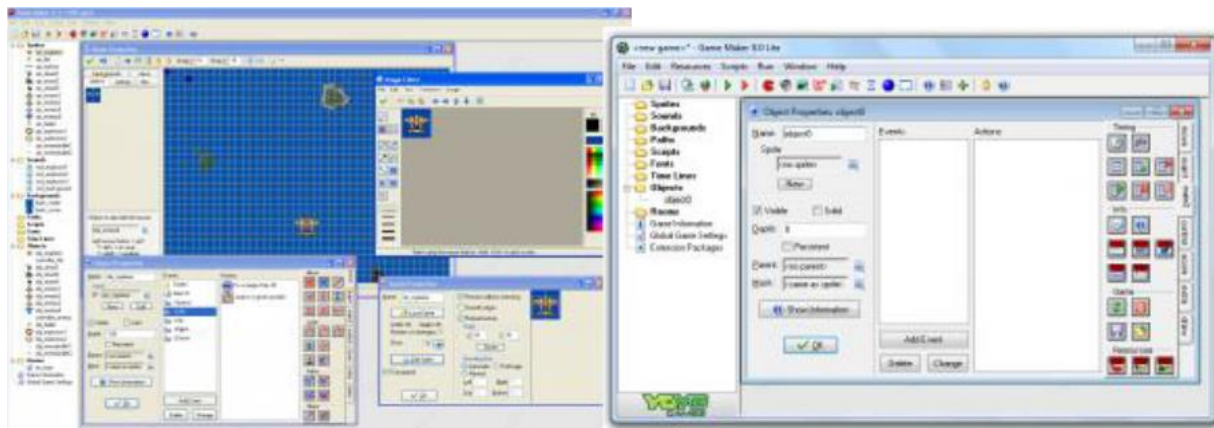


Figure 103 : Éditeur de carte et éditeur de règles de Game Maker

■ La famille « Klik »

Les éditeurs issus de la société Clickteam proposent un environnement utilisant une interface de programmation tout-en-un sous forme de tableur pour créer et éditer des règles. Ce concept a ensuite été repris de nombreuses fois et désigné sous l'appellation de « famille Klik ». La version la plus récente, The Games Factory 2, est parue en 2006. En 2013 le site The Daily Click répertoriait plus de 5000 créations de jeu basées sur cette usine.

■ GameDevelop

GameDevelop (Game Maker) a été créé par un professeur d'informatique, Mark Overmars, dans le but d'apprendre à ses élèves des notions de programmation en s'appuyant sur la conception de jeux vidéo. Il reprend les concepts de la famille Klik mais permet d'insérer des méthodes dans les objets du jeu, là où la famille Klik permettait de n'utiliser que des propriétés. Chaque objet manipulable par le joueur ou le concepteur s'appuie sur le paradigme de programmation orientée objet, permettant entre autres l'utilisation de concepts fondamentaux tels que l'héritage ou l'encapsulation. Le succès de Game Maker est encore plus important que celui de la famille Klik, avec en 2013 près de 6000 titres.

V.1.7.2 Outil de « modding »

Certains éditeurs de jeux proposent directement comme outils des possibilités pour modifier leur propre jeu. Ces outils permettent au concepteur de jeu de paramétrer le jeu existant et de créer de nouveaux jeux. Ces caractéristiques sont ensuite injectées dans un logiciel qui interprète les caractéristiques et les exécute.

Starcraft (jeu de stratégie en temps réel) (Blizzard Entertainment, 1999) est un exemple de grands titres ayant servi comme support à la conception d'autres jeux (des « mods ») créés avec les éditeurs de ces différents jeux.

Afin de permettre la création de ces mods, différents éditeurs existent :

- éditeurs de personnages ;
- éditeurs de mouvements ;
- éditeur de carte.

■ Éditeurs de niveaux

Les éditeurs de niveaux sont des environnements de conception et d'édition simple permettant la modification de l'environnement de jeu. Les levels designers peuvent, en utilisant les éléments de jeu plus ou moins définis, proposer des environnements de jeu, directement visualisable dans l'environnement. La plupart des grands jeux commerciaux utilisent et proposent ce type d'éditeurs de niveaux. Pour n'en citer qu'un, l'éditeur de niveau d'Unreal 3 (Figure 104) est associé à de nombreux outils facilitant la mise en place de jeux utilisant le moteur graphique et physique d'Unreal.

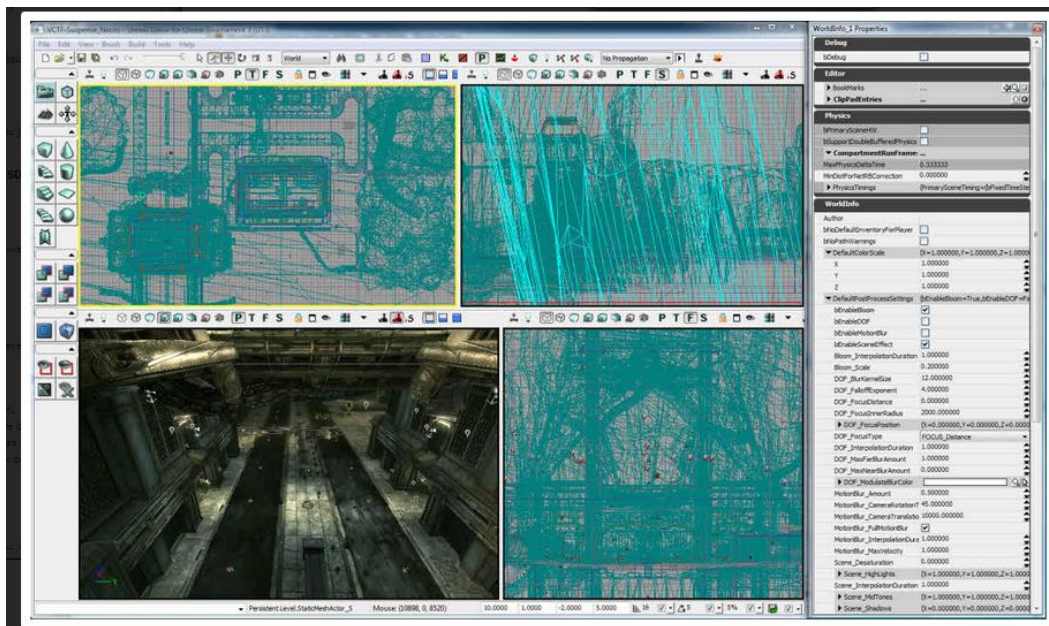


Figure 104 : Éditeur de niveau d'Unreal 3

■ Éditeurs graphiques d'éléments et d'animation

Les éditeurs graphiques d'éléments et d'animation permettent de modifier l'ensemble des entités interactives qui vont être perçues dans le jeu. Pour exemple, MeshView est un éditeur permettant la modification fine des traits du corps et du visage et la réalisation d'animations à partir de déclencheur d'évènements et de machine à état exprimant les transitions entre tous les moments du jeu (Figure 105). Les outils pour permettre leur création sont souvent externalisés et sont finalement des éditeurs d'objets 3D (3D Max, Catia, Blender, Meshview ...).

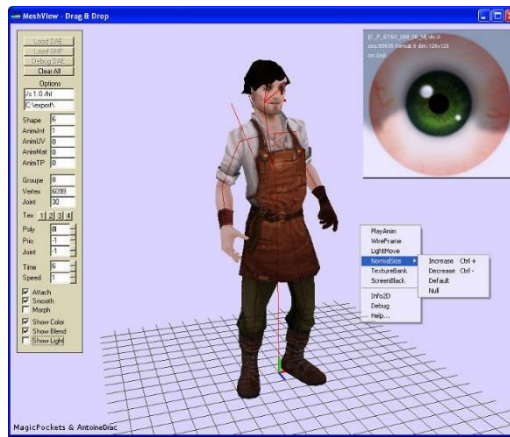


Figure 105 : Éditeur de personnage sous MeshView

Les éditeurs de mouvements (Figure 106) permettent de définir des animations réalistes utilisables en jeu. La motion-capture (capture de mouvement) est pour cela régulièrement utilisée, et permet un grand réalisme dans les mouvements des personnages du jeu.

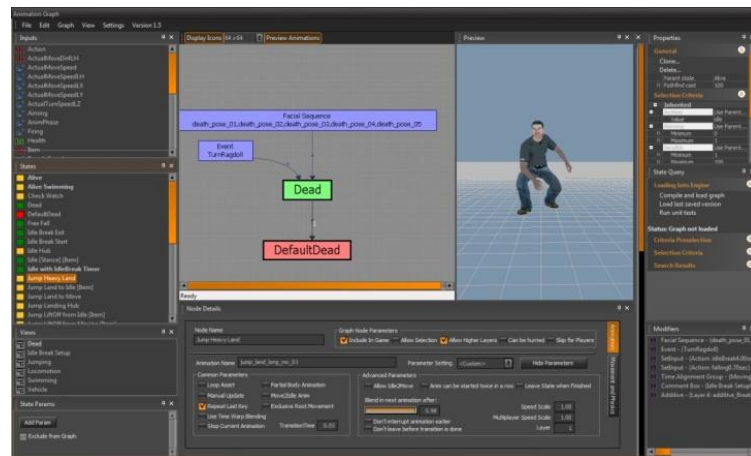


Figure 106 : Éditeur de mouvement des personnages d'Unreal

À partir de marqueurs passifs positionnés près des articulations (Figure 107 à gauche), une caméra capte les différentes positions et rotations des membres. Ces informations sont associées à un modèle 3D (Figure 107 à droite), permettant la réalisation d'une animation, pouvant être utilisée par les éditeurs de personnages, puis dans le jeu.



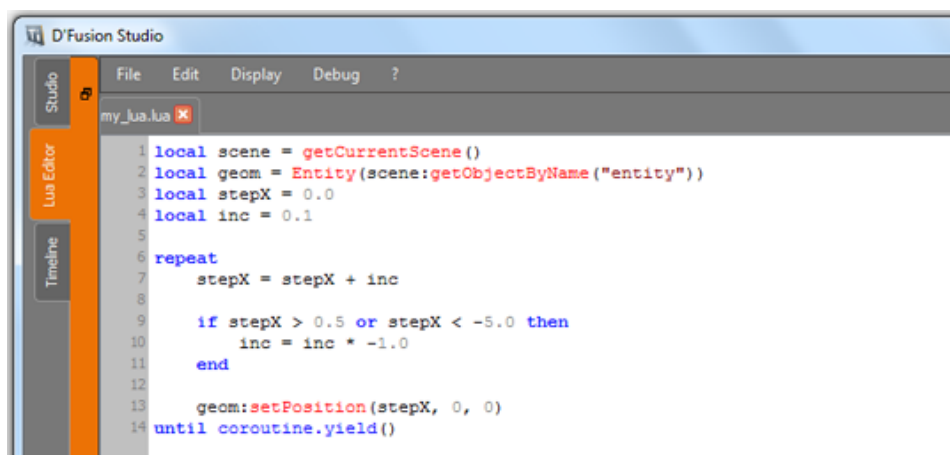
Figure 107 : Enregistrement de mouvement en motion capture

■ Éditeur de comportement des entités du jeu

Créer un jeu impose de définir les comportements des entités du jeu. Ces comportements sont définis par des « règles par émergence » (Djaouti, 2011), et doivent avoir « un niveau de spécification suffisamment détaillé pour amener une machine à état fini dans un autre état » (Juul, 2005).

La programmation événementielle avec un langage de script est largement utilisée. La logique de programmation par événement permet de faire évoluer le jeu selon des « conditions de déclenchement » et des « actions ». Une fois les conditions de déclenchements atteintes, les actions sont activables.

L'utilisation d'un langage de script propose des fonctionnalités de base telles que les classiques « si » « alors », pour fonctionner. Une des solutions plébiscitées actuellement est l'utilisation du langage de script LUA (Lerusalimschy et al., 1996) (Lerusalimschy et al., 2006), intégrable dans de nombreux environnements de développement (Figure 108).

The image shows a screenshot of the D'Fusion Studio interface. The main window is titled 'my_lua.lua' and contains the following Lua code:

```
1 local scene = getCurrentScene()
2 local geom = Entity(scene:getObjectByName("entity"))
3 local stepX = 0.0
4 local inc = 0.1
5
6 repeat
7     stepX = stepX + inc
8
9     if stepX > 0.5 or stepX < -5.0 then
10         inc = inc * -1.0
11     end
12
13     geom:setPosition(stepX, 0, 0)
14 until coroutine.yield()
```

The interface includes a menu bar with 'File', 'Edit', 'Display', and 'Debug'. On the left side, there are three vertical buttons: 'Studio', 'Lua Editor', and 'Timeline'.

Figure 108 : Éditeur de script LUA du logiciel D'Fusion

L'utilisation du langage de script LUA a été popularisée par le jeu World of Warcraft (Blizzard Entertainment, 2003) en proposant l'ajout de modules personnalisés au jeu. L'initiative remporta un succès immédiat et des centaines de modules ont pu ainsi être développés, enrichissant le jeu de toutes sortes de fonctionnalités aussi variées les unes que les autres : cartographies, bloc-notes, gestion d'inventaire...

Une autre question se pose : comment intégrer ces règles dans le fonctionnement global du jeu. Pour cela, Djaouti (Djaouti, 2011) met en avant deux types de logiques de structure pour intégrer les règles :

- une première où l'entité interactive est conteneur de données et de règles ;
- une deuxième où chaque règle est contenue dans un agent spécifique et peut être utilisable par l'ensemble des objets interactifs.

L'utilisation d'une logique où les règles sont des agents propres rend les structures de jeu réutilisables : les règles utilisables pour un type d'entités sont réutilisables pour d'autres.

L'ensemble de ces éditeurs de jeux met en avant une séparation nette entre comportement de jeu (c'est-à-dire les règles, buts et environnements de jeu) et moteur sous-jacent (c'est-à-dire la base articulatoire qui permet d'agencer les règles, les buts et l'environnement de jeu). L'approche empruntée dans le domaine du jeu paraît être un bon moyen de séparer à la fois les considérations et les métiers sous-jacents.

V.1.8 Synthèse sur les jeux

Dans ce contexte, nous avons retenu un besoin de corréliser une activité ludique ainsi que de cibler certaines caractéristiques du jeu utilisables dans le champ de l'apprentissage. En particulier nous avons ciblé :

- les différentes possibilités de relations sociales (collaboration/compétition) ;
- l'utilisation de mécaniques de jeux ;
- l'utilisation de règles permettant de cadrer l'activité ;
- l'utilisation de buts dirigeant le séquençage de l'activité ;
- l'utilisation d'un espace de jeu ;
- l'utilisation d'un système de temps particulier ;
- des éléments de jeu supportant le comportement du jeu.

Les modèles de jeux proposés ne correspondent pas à la vision classique en IHM des applications interactives, où les différentes entités séparent abstraction et présentation. Nous allons donc proposer notre propre modèle, conservant les caractéristiques intéressantes avec une structuration plus proche des visions IHM du génie logiciel.

Nous retenons aussi du milieu du jeu une importance forte de l'utilisation d'outils permettant la création des jeux. En effet, les équipes de développement technique proposent un support aux équipes de développement fonctionnel proposant elles-mêmes des outils de support à la création. Dans ces outils d'édition du jeu, nous en retenons certains particulièrement adaptés à notre contexte :

- éditeur de niveaux ;
- éditeur de règles.

Nous pensons que les éditeurs de jeu sont nécessaires pour la création d'un jeu, mais pas suffisant pour permettre sa création. Modifier les objets et les niveaux peut être suffisants dans le cadre de la modification d'un jeu existant, mais pas forcément suffisant dans le cadre de la création d'un nouveau jeu.

V.2 Le Jeu pédagogique

V.2.1 Jeu Sérieux et Ludification

V.2.1.1 Jeu Sérieux

Une des tendances actuelles est de ludifier l'ensemble des activités. Cette ludification est connue par certains sous le terme de jeu sérieux (serious game). **Les serious games sont des jeux**

médiatisés ayant un but qui dépasse le simple amusement (Susi et al., 2007). Le terme de Serious Game regroupe de nombreux types de jeux qui se distinguent par leurs objectifs.

La typologie des jeux vidéo qui proposent des fonctions utilitaires est assez riche. On recense notamment (Alvarez et al., 2010) :

- des jeux publicitaires (advergames) ;
- des jeux ludo-éducatifs (learning games) ;
- des exercices, qui dispensent des exercices ;
- des datagames, basés sur des banques de données ;
- des jeux de sensibilisation (écologique, politique, économique...) ;
- des jeux marketo-éducatifs, qui combinent des messages éducatifs ou informatifs avec du marketing ;
- Les serious games de simulation (militaire, catastrophe, économique...).

Cette liste ne présente que les catégories de jeux sérieux les plus représentées. **Toute activité peut avoir son correspondant en jeu sérieux.** Lorsqu'une activité contient des caractéristiques ludiques ajoutées pour permettre une motivation supplémentaire à ses utilisateurs, le dispositif associé peut-être appelé « jeu sérieux ».

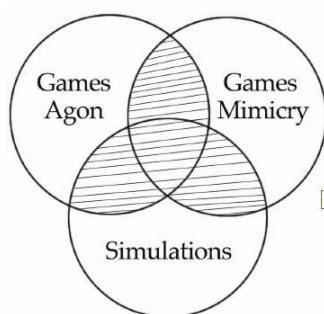


Figure 109 : Composantes d'un jeu sérieux

Le jeu sérieux est considéré par Botte (Botte et al., 2009) comme la réunion d'un jeu (par ces deux aspects – play et game) et d'une simulation (Figure 109). Cette vision nous amène à voir la simulation comme un aspect principal d'un jeu sérieux.

Nous considérons les simulations comme des simplifications de situations réelles, permettant de focaliser spécifiquement sur les problèmes choisis (Béguin et al., 2002), accentuant les aspects souhaités et en diminuant l'importance des autres.

Marfisi (Marfisi-Schottman, 2012) a réalisé un historique relatif à l'émergence des jeux pédagogiques (Figure 110). Elle identifie les premières associations de jeu et d'apprentissage au 17^{ième} siècle, un premier livre sur le sujet dans les années 70, une première réussite « commerciale » en 2002... La mouvance s'installe en France, entre autres grâce à une maturité de marché suffisante, des aides gouvernementales pour favoriser leurs utilisations et une nécessité légale d'avoir des formations professionnelles. Le projet SEGAREM qui cadre cette thèse a trouvé son financement dans les aides publiques apportées.

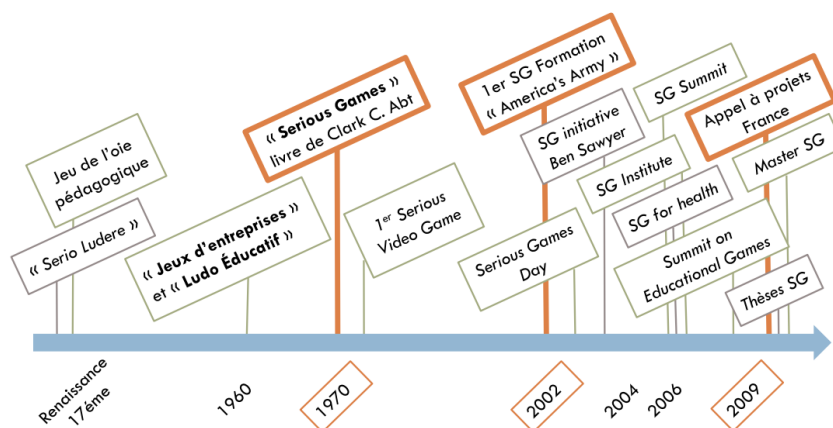


Figure 110 : Historiques des Jeux pédagogiques (Marfisi-Schottman, 2012)

De nombreux auteurs sont orientés vers le « jeu sérieux », mais la définition est pour nous trop bancale : le fait de définir un jeu sérieux comme ayant un objectif autre que l'amusement nous pose problème. En effet le fait de faire une définition utilisant un qualificatif privatif (« un objectif autre que») rend la définition peu précise, et nous préférons donc avoir un autre angle d'approche. Cette autre approche est celle de **la ludification de l'activité**.

V.2.1.2 Ludification de l'activité

Proposer des éléments ludiques et/ou motivationnels dans un contexte qui dépasse celui du jeu est connu comme étant le principe de ludification, gamification en anglais (Deterding et al., 2011). Ils proposent une définition de la ludification comme « **l'utilisation d'éléments de jeu dans un contexte non ludique** ».

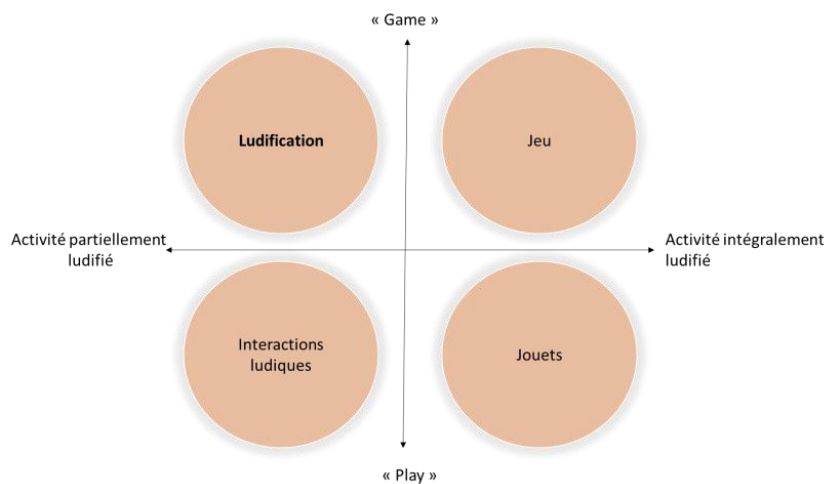


Figure 111 : Différentes ludifications de l'activité (Deterding, 2011)

La ludification peut modifier l'activité partiellement ou intégralement, et peut orienter cette activité selon l'aspect « Game » ou l'aspect « Play » (Figure 111). Dans le cadre d'une formation pédagogique intégrée dans un cours ou une formation professionnelle, les activités concernées sont partiellement ludifiées et peuvent potentiellement utiliser les aspects « game » et « play ».

Zichermann (Zichermann, 2011) propose à son tour une définition : « la ludification est le **processus** d'utiliser **des mécaniques de jeu** pour **impliquer** et **motiver** les joueurs à **résoudre des problèmes** dans leur activité ».

Nous situons le jeu sérieux comme un environnement utilisant les mécaniques de jeu et la résolution de problèmes pour supporter une activité ayant un but d'apprentissage.

V.2.2 Jeu d'apprentissage

L'utilisation du jeu pour l'activité d'apprentissage est particulièrement adaptée (Gee, 2003) (Gee, 2005) par l'ajout de la dimension émotionnelle à l'activité d'apprentissage (Zichermann, 2011), tout en conservant une priorité à l'objectif d'apprentissage, qui est et reste à la fois l'objectif et une conséquence (directe ou indirecte) de l'activité d'apprentissage.

Nous parlons de jeux d'apprentissages comme d'environnements informatisés utilisant des ressorts ludiques, pour catalyser l'attention, favoriser la motivation et faciliter l'apprentissage. Le jeu pédagogique a des buts pédagogiques explicites et est utilisé dans le cadre de formations académiques ou professionnelles de tous niveaux.

Avant d'être informatisés, ces outils pédagogiques étaient utilisés entre autres sous l'appellation « jeu d'entreprise » pour l'apprentissage de situations où la démarche analytique et individuelle ne donne pas les résultats escomptés. L'objectif est de faire émerger une situation proche de la réalité à partir de situations collaboratives en utilisant le rôle des acteurs et un processus temporel. La dynamique sociale et l'environnement du jeu sont directement intégrés dans les mécanismes de jeu.

V.2.2.1 Approches employées

Les **caractéristiques** ludiques sur lesquelles peuvent capitaliser les solutions d'apprentissage, pour maintenir l'attention de l'utilisateur et renforcer l'efficacité des formations, sont diverses :

- tout d'abord, l'expression des émotions qu'inspirent les jeux, de la fierté à la frustration, est un facteur d'engagement de l'élève ;
- ensuite, le jeu offre un espace, délimité par des règles prédéfinies, dans lequel l'utilisateur a la liberté de tester des théories et d'échouer avant d'arriver à un résultat, tandis que l'adoption d'une identité nouvelle (virtuelle) peut permettre d'affronter des défis spécifiques.

Cette mécanique du jeu doit être parfaitement comprise et **alignée avec les objectifs** de la formation envisagée, pour produire des résultats probants. Concrétiser l'apport motivationnel peut passer par l'utilisation de points, tableaux de classements, systèmes multiniveaux, cadeaux virtuels...

Une remarque récurrente porte sur le **trop grand nombre d'éléments ludiques insérés** par les concepteurs dans les jeux pédagogiques. Ainsi, il est important de faire une sélection rigoureuse des mécaniques de jeu pour cibler précisément les motivations des élèves (qu'il convient de déterminer au préalable) et équilibrer au mieux les problèmes posés et les récompenses distribuées.

Dans notre approche, nous ne voyons pas le jeu d'apprentissage utilisant les objets motivationnels non intégrés directement à l'activité, mais comme une intégration de l'activité d'apprentissage dans celle du jeu. Pour cela, deux moyens sont proposés :

- L'approche intrinsèque, avec intégration des connaissances dans le jeu ;

- L'approche extrinsèque, avec intégration de l'apprentissage autour de l'activité du jeu.

■ Approche intrinsèque

Pour transformer un jeu en activité d'apprentissage, Habgood (Habgood, 2007) propose **d'intégrer les contenus pédagogiques directement dans les entités interactives du jeu**. Cette technique, dite intrinsèque est considérée aujourd'hui comme un des facteurs clés de la réussite pédagogique d'un jeu.

Afin de permettre une modélisation de l'activité professionnelle et de ces prérequis, l'utilisation des techniques de modélisation des connaissances est couramment utilisée. Ces connaissances peuvent ensuite être manipulées par des personnes non expertes et être intégrées au contenu du jeu. Cela impose le travail d'un expert du domaine associé à un « knowledge manager », expert dans la modélisation de la connaissance et de l'activité. L'opération n'est pas simple, car les experts n'expriment pas explicitement leurs compétences, savoir-faire et savoir-être dans leur vie quotidienne. Ainsi, ils ne savent pas toujours exprimer clairement toutes leurs compétences construites au fil des années et des expériences. L'étape de formalisation de l'activité (passage du tacite à l'explicite) est à réaliser avec l'expert en modélisation des connaissances. Afin d'aider ce processus, l'utilisation d'outil informatique comme des cartes conceptuelles ou des modèles plus formels comme MASK peut aider la formalisation des connaissances à apprendre (Ermine, 1996).

■ Approche extrinsèque

L'approche intrinsèque est intéressante, mais cette approche peut ne pas être suffisante. Il est aussi possible d'intégrer des phases de pur apprentissage et utiliser le jeu comme moyen de valider l'acquisition de ces connaissances. Ce type de méthode est appelé approche **extrinsèque**.

Des éléments ludiques sont aussi intégrés, mais l'objet reste avant toute chose un outil pédagogique. L'utilisation de phases pédagogiques pures permet de faire découvrir les aspects théoriques et les phases ludiques sont quant à elles à la fois des moments de détente et de validation de l'activité sérieuse.

Même si de nombreux psychologues et pédagogues ont souvent été pro-intrinsèques ou pro-extrinsèques, nous ne faisons pas un choix tranché entre l'utilisation de l'une ou de l'autre approche. Si l'approche extrinsèque a été particulièrement étudiée dans les années 80-90 (avec l'émergence de logiciel ludo-éducatif grand public, comme Adibou en fer de lance), les années 2000 se concentrent plus sur l'approche intrinsèque.

Combiner l'approche extrinsèque et l'approche intrinsèque constitue pour nous la meilleure solution. Ainsi, les jeux pédagogiques sont intégrés dans une formation plus globale, avec des phases de pur apprentissage et des phases de jeu permettant à la fois de motiver les apprenants et de consolider les connaissances théoriques.

V.2.2.2 Principes de ludification

Dans le cadre de cette thèse, nous suivons l'orientation prise par Marfisi (Marfisi-Schottman, 2012) de considérer les jeux pédagogiques comme étant essentiellement des « jeux à mission ».

De cette manière, la « rolfication » des apprenants, la simulation de l'environnement et la résolution de problème sont les caractéristiques principales d'un jeu pédagogique.

■ Réaliser une activité dans un environnement simulé

La simulation s'appuie sur des ressources et supports de différents types :

- les simulations sur le lieu d'utilisation des compétences, c'est-à-dire se déroulant dans l'environnement physique avec situations plus ou moins proches de la réalité ;
- les simulations se situant dans autre environnement, utilisant salle de classe, tables, plateaux comme média d'environnement simulé.

Chacun de ces deux types de simulations peut ou non être supporté par un environnement numérique :

- dans un cadre non informatisé, les joueurs apportent les modifications de la simulation ;
- dans un cadre informatisé, le système sous-jacent est responsable de la gestion des règles et des conséquences des actions des utilisateurs sur la simulation. L'utilisation de modèles et du système informatique permet la gestion d'un niveau de complexité de la simulation avec de nombreux paramètres pouvant être pris en compte.

■ Réaliser une activité simulée

Nous reprenons la définition de Mariais (Mariais, 2012) influencée par Grellier (Grellier, 2008) comme définition d'un jeu de rôle : « **simulation** d'une **situation**, à laquelle les **participants** prennent part en **endossant les rôles de personnages** spécifiques interagissant les uns avec les autres. C'est une activité collective dans laquelle les échanges et la communication entre les protagonistes sont centraux ».

Le principe de jeu de rôle peut être vu de différentes manières. Dans le cas où le jeu est supporté informatiquement :

- le jeu de rôle impose une association entre un joueur et un personnage de jeu par l'intermédiaire de son rôle. Le personnage du jeu, par ces caractéristiques possède des capacités d'actions sur les entités du jeu par l'intermédiaire de son ou de ses avatars.
- Le joueur a un comportement cohérent avec l'histoire de son personnage. Un joueur est dit « RP » — Role-Play, lorsque ses habitudes dans le jeu sont en rapport avec ceux du rôle joué. Le joueur prend possession des capacités et motivations du personnage afin de respecter son rôle. Pour cela, il réalise un jeu d'acteur, réalisant des actes et étant dans un état d'esprit fidèle à sa propre représentation définie par le rôle à jouer. Dans cette dynamique, le joueur prend son rôle à cœur et fait évoluer le personnage vers les objectifs du personnage.

■ Avoir pour objectif de résoudre un ou plusieurs conflits

Van Eck (van Eck, 2006) montre que le jeu constitue un principe de socialisation primaire et est l'un des mécanismes d'apprentissage communs à toutes les cultures humaines et dans de nombreuses espèces animales. Le jeu constitue également une source importante de conflits sociocognitifs par lesquels s'opère une confrontation à d'autres perspectives et à d'autres personnes. Enfin, il permet de mettre en perspective un processus continu de déséquilibres cognitifs et de résolution de problèmes (van Eck, 2006). Le niveau du déséquilibre cognitif occasionné (notion d'accommodation issue de Piaget, 1975) détermine la qualité de l'engagement dans le jeu (van Eck, 2006).

Pour cette raison, de nombreux environnements du jeu sont conçus à partir de problèmes, que les apprenants doivent résoudre (Schank, 1990) (Schank, 1997). Les apprenants sont dans une situation où ils ont l'opportunité d'apprendre par l'action, en particulier en faisant des erreurs qui n'ont pas d'impact (Naidu et al., 1999).

La réalisation d'activités orientées par les buts est régulièrement citée par les pédagogues comme :

- catalyseur de motivation ;
- déterminant dans l'autoévaluation de l'apprenant (Bandura et al., 1983) (Becker, 1978) (Strang et al., 1978) ;
- déterminant dans la perception de l'auto-efficacité (Bandura et al., 1981) (Bandura et al., 1983) ;
- déterminant dans la compréhension de l'activité à réaliser.

Il est possible de caractériser un but (Bandura, 1995) par :

- un objectif clair (pour une meilleure compréhension du but par l'apprenant) ;
- un objectif réaliste (pour une meilleure performance dans l'activité) ;
- une décomposition du but en sous-but intermédiaires (pour augmenter le sentiment de progression et d'efficacité dans la réalisation de l'activité) ;
- une description abstraite de l'activité demandée. Le joueur comprend par lui-même ce qu'il doit faire, ce qui permet le choix entre les différentes possibilités qui lui sont proposées. Le joueur pourra dans un second temps avoir une motivation associée à l'optimisation ;
- une cohérence avec l'histoire et l'environnement fictionnel de jeu (Schank et al., 1995).

V.2.2.3 Influence de la ludification

De nombreuses recherches sont menées sur l'efficacité des jeux pour favoriser l'apprentissage. Bien qu'un certain nombre rapporte des effets positifs (la motivation, implication de l'apprenant et parfois un meilleur apprentissage), de **nombreuses autres ne montrent aucune différence avec un apprentissage sans ordinateur**. Aussi, les méthodes d'expérimentation utilisées rendent les inférences sur l'utilité des jeux pédagogiques difficiles.

Hays (Hays, 2005) propose une revue de la littérature sur l'efficacité des jeux pédagogiques. À travers cette étude il fait le constat qu'il existe des faiblesses importantes au niveau de l'évaluation des apports d'ajouts d'éléments ludiques dans une activité d'apprentissage. Pour citer le principal biais, le lien entre les mesures effectuées sur la motivation et des performances plus élevées n'est pas clairement établi. Aussi, l'aspect motivationnel du jeu n'est bénéfique d'un point de vue pédagogique que s'il est conçu pour atteindre des objectifs d'ordre pédagogique, sinon il est possible que l'aspect jeu prenne le pas sur l'aspect apprentissage et que l'utilisateur cherche uniquement à savoir comment gagner le jeu.

En effet, en intégrant trop d'éléments de jeu, Malone (Malone et al., 1987) et Habgood (Habgood, 2007) montrent que l'apprenant détourne son attention vers d'autres objets. En termes de recommandation il est très important de juger de l'intérêt de chacun des éléments ludiques présent dans l'activité.

Certains problèmes se posent fréquemment dans un jeu pédagogique (Engenfeldt-Nielsen, 2006) :

- l'utilisation de mécanique ludique dans une activité d'apprentissage n'est pas systématiquement fructueuse, à cause d'une intégration insuffisante de l'apprentissage ou de la perte de vue de l'objectif premier dans la réalisation de l'activité (Engenfeldt-Nielsen,

2006) (Rieber, 1996) (Habgood et al., 2005). Le problème vient d'un manque d'intégration de l'apprentissage dans le jeu avec des connaissances non nécessaires pour progresser dans le jeu et/ou des objectifs pédagogiques ne coïncidant pas avec les objectifs ludiques.

- un apprenant préfère avoir l'impression de contrôler le jeu, s'impliquer, explorer, faire ses propres erreurs et ne pas être interrompu. Mais les objectifs pédagogiques fixés ne sont alors pas forcément atteints. Il est donc important de ne pas lui laisser trop de contrôle sur le jeu pédagogique, qui sur ce type de point n'est vraiment pas un jeu.
- le tuteur doit intervenir pour guider les apprenants, les aider à prendre du recul par rapport aux connaissances acquises et parfois modifier le cours du jeu. Mais son intervention risque de couper l'activité de l'apprenant, de dégrader la sensation d'immersion. Il est donc important de proposer des phases où les utilisateurs sont indépendants et d'autres où ils sont aidés.

Concernant les environnements fictionnels, Malone (Malone et al., 1987) propose l'utilisation de mondes fictionnels endogènes plus intéressants et donnant de meilleurs résultats que les mondes fictionnels exogènes. Le recours à une fiction endogène comporterait différents avantages pour l'apprenant, d'un point de vue cognitif et émotionnel. Tout d'abord, l'intégration intrinsèque entre fiction et apprentissage permettrait de mettre en place un feedback constructif, ciblé et approprié, donné par le monde imaginaire, et non pas simplement une réponse de type juste/faux. Elle offrirait également la possibilité d'utiliser des métaphores appropriées pour l'apprentissage (métaphores spatiales pour des concepts mathématiques, par exemple) qui permettent à l'apprenant de faire plus facilement un lien entre les nouvelles informations qui lui sont présentées et ses connaissances antérieures. L'intégration endogène des fictions a aussi une influence positive sur la mémorisation du matériel pédagogique. Enfin, si l'apprenant est intéressé par le monde imaginaire qui lui est proposé, il est aussi intéressé par le contenu d'apprentissage (Rieber, 1996). À ce sujet, Lepper (Lepper et al., 1987) conseille de personnaliser le contexte fictionnel pour accroître la motivation intrinsèque de tous les apprenants.

V.2.3 Modèles de jeux pédagogiques

V.2.3.1 Modèle de Jiménez-Díaz

Pour proposer des jeux pouvant être modulaires, Jiménez-Díaz et al. (Jiménez-Díaz et al., 2007) proposent un modèle en deux couches (Figure 112) :

- un noyau pour le comportement et la gestion des entités de l'environnement, des propriétés des différentes entités du jeu et la gestion du scénario ;
- le système « Hotspot » qui permet les interactions avec les étudiants et les experts pédagogiques, et qui permet la traduction des actions des utilisateurs, le choix des scénarios associés à un système de tutorat.

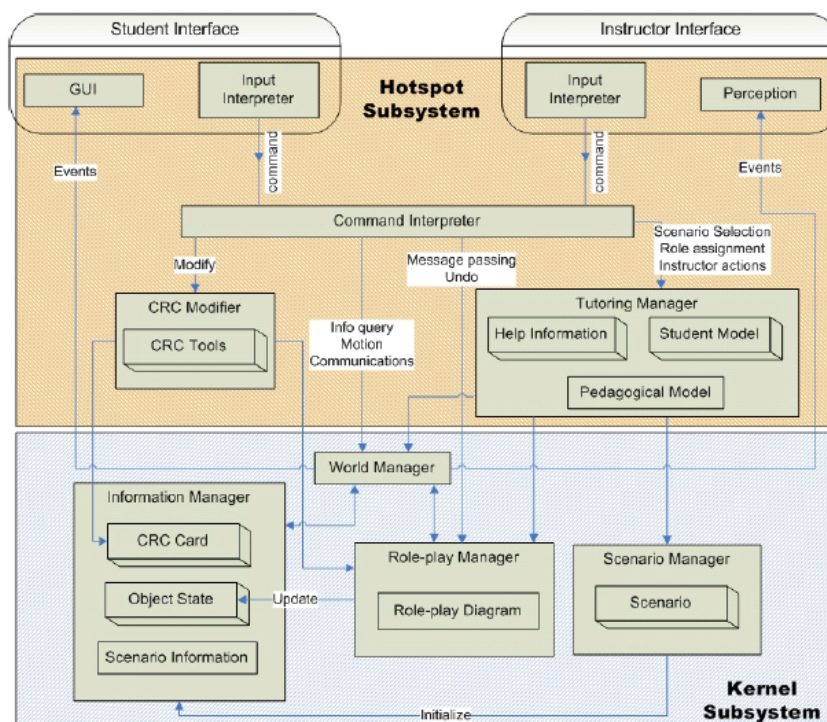


Figure 112 : Modèle de Jiménez-Díaz (Jiménez-Díaz et al., 2007)

Ce modèle propose une distinction entre comportement et interface utilisateur. En particulier, avec la distinction entre l'environnement de jeu, la gestion des rôles et la gestion du scénario. Il intègre cependant tout le système tutoriel dans la partie IHM et ne précise que très peu comment l'environnement du jeu est géré.

V.2.3.2 Modèle de Amory

Le « Game Object Model II » (Amory, 2007) est un modèle (Figure 113) qui propose de créer une relation entre la dimension pédagogique et les éléments ludiques. Pour construire des jeux pédagogiques, ce modèle utilise un nombre important d'objets corrélés :

- le challenge (que ce soit un défi ou une compétition) ;
- l'aspect narratif ;
- la conversation.

Le GOMII utilise des composants qui promeuvent les objectifs pédagogiques (contenu dans les « interfaces abstraites », représentées par le symbole « • ») ce qui permet leurs réalisations (contenus dans les « interfaces concrètes », représentées par le symbole « ◯ »). L'évaluation des interfaces abstraites indique la compatibilité des besoins pédagogiques avec le jeu, tandis que l'évaluation des interfaces concrètes permet d'indiquer à quel point le jeu permet d'atteindre les objectifs pédagogiques.

Le concept principal du modèle est que « les jeux pédagogiques utilisent des environnements pertinents, engageants où l'apprenant peut explorer l'environnement, de manière à trouver des solutions à des problèmes complexes » (Amory, 2007).

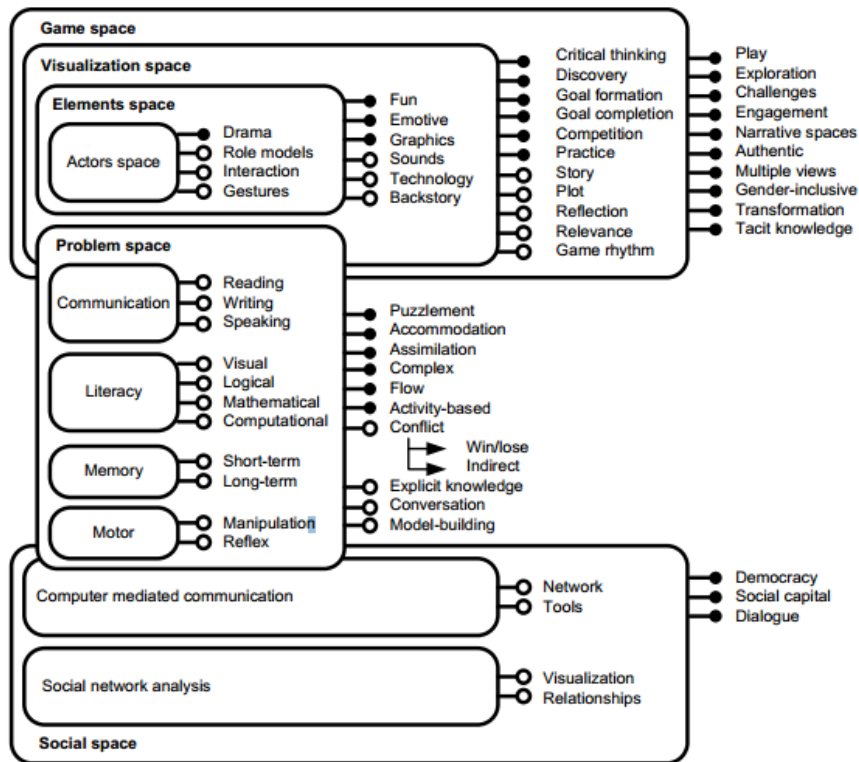


Figure 113 : Modèle d'architecture de (Amory, 2007)

Ce modèle propose trois « objets » de haut niveau que sont l'« Espace de jeu », l'« Espace problème » et l'« Espace social ». Ces objets interagissent les uns avec les autres. Si un objet est inclus dans un autre, celui-ci « hérite » des caractéristiques de son objet parent. Par exemple, dans l'espace du jeu est inclus l'espace de visualisation qui inclut l'espace des éléments du jeu qui incluent l'espace des acteurs.

Nous retenons de ce modèle un moyen de mettre en rapport les objectifs ludiques avec les différents objectifs pédagogiques, mais nous ne savons pas exactement comment utiliser les corrélations entre les différentes caractéristiques du jeu.

V.2.3.3 Modèle de Hodhod

Hodhod (Hodhod et al., 2009) propose un modèle (Figure 114) basé sur deux niveaux :

- Un niveau de tutorat permettant d'accéder aux informations liées à chacun des utilisateurs : de cette manière, l'interface et le niveau d'apprentissage de l'apprenant sont accessibles ;
- Un niveau narratif, où scénarios du jeu et descriptions du monde cohabitent.

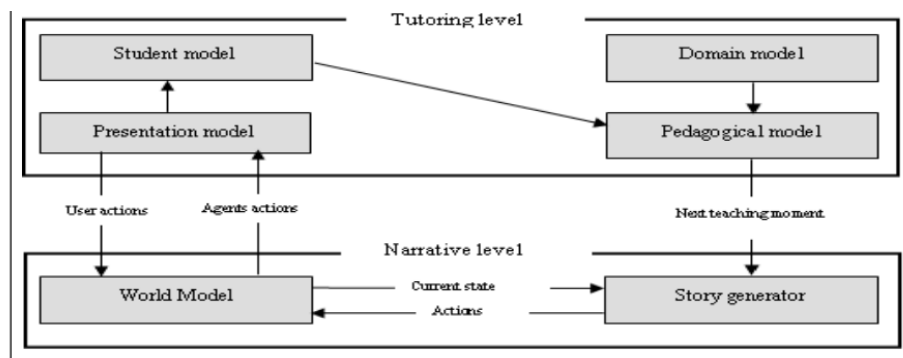


Figure 114 : Modèle AEINS (Hodhod et al., 2009)

Nous retenons de ce modèle l'utilisation simultanée d'un modèle permettant l'évolution du monde et d'un modèle permettant l'évolution de l'histoire réalisée dans ce monde. Cette logique nous semble adaptée, et nous allons utiliser conjointement les deux composants.

V.2.3.4 Modèle de Djaouti

Pour la conception de jeux pédagogiques, Djaouti (Djaouti, 2011) propose l'utilisation de « briques Gameplay », permettant la combinaison des règles et objectifs d'un jeu. Pour arriver à ce résultat, Djaouti (Djaouti et al., 2007) ont effectué une étude de plus de 500 jeux pour faire émerger 10 comportements récurrents. Voici les sept que nous jugeons particulièrement pertinents :

1. avoid : le joueur doit éviter des types d'éléments de jeu, sinon il est pénalisé ;
2. manage : le joueur doit gérer une ressource limitée ;
3. create : le joueur peut créer de nouveaux éléments ;
4. destroy : le joueur doit détruire un élément ;
5. match : le joueur doit faire correspondre une valeur ou une position donnée à un objectif de valeur ;
6. move : le joueur peut déplacer un élément ;
7. select : le joueur peut sélectionner un élément.

Ces différentes briques permettent la description de règles associées à des buts de jeu par l'association entre les joueurs et les différents éléments du jeu par des règles de jeu. Ces briques sont de plus composables dans des métabriques.

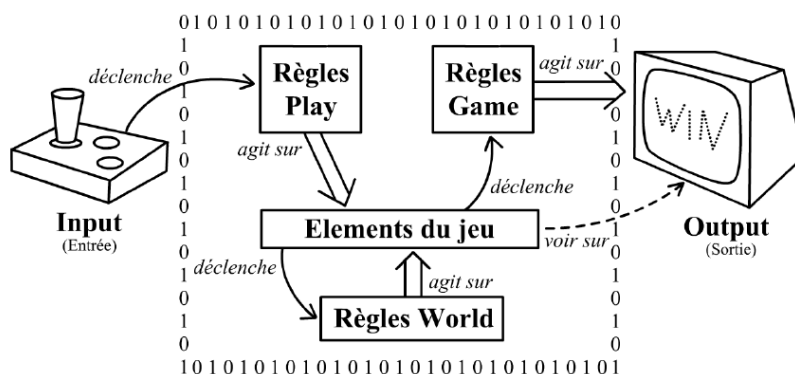


Figure 115 : Modèle de Djaouti (Djaouti, 2011)

Djaouti (Djaouti, 2011) propose aussi un modèle en couche (Figure 115), où les éléments de jeu sont en interaction avec des règles, qui font le parallèle entre les actions du joueur et ce qui est présenté dans l'interface. La vision en briques, comme patterns de règles/buts semble prometteuse (malgré les limites que Djaouti met en avant). Par manque de temps et un besoin fort d'intégrer les aspects issus des environnements mixtes, nous n'avons cependant pas orienté nos recherches dans ce sens.

V.2.3.5 Modèle de Mariais

En utilisant la métaphore du théâtre, Mariais (Mariais, 2012) a proposé un modèle facilitant la modélisation de jeu de rôle pédagogique et un formalisme graphique ScenLRPG. Pour décrire un scénario, le formalisme permet la composition d'espaces d'activités pouvant être regroupés au sein de salles. Les salles regroupent des espaces d'activités poursuivant un but commun, lié à une même thématique ou appartenant à une même phase du scénario.

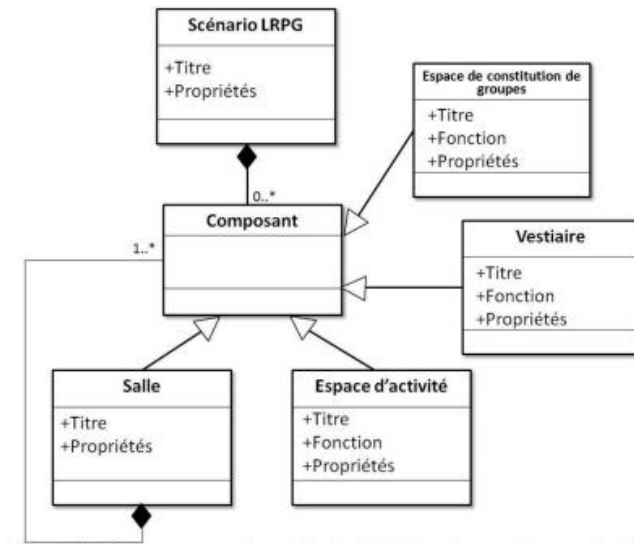


Figure 116 : Composants d'un scénario Jeux de rôle pédagogique

ScenLRPG permet la description de différents types de scénarios utilisés dans les jeux pédagogiques « de rôle ». Dans l'exemple décrit en Figure 117, Mariais propose le scénario « Bien conduire un entretien client ».

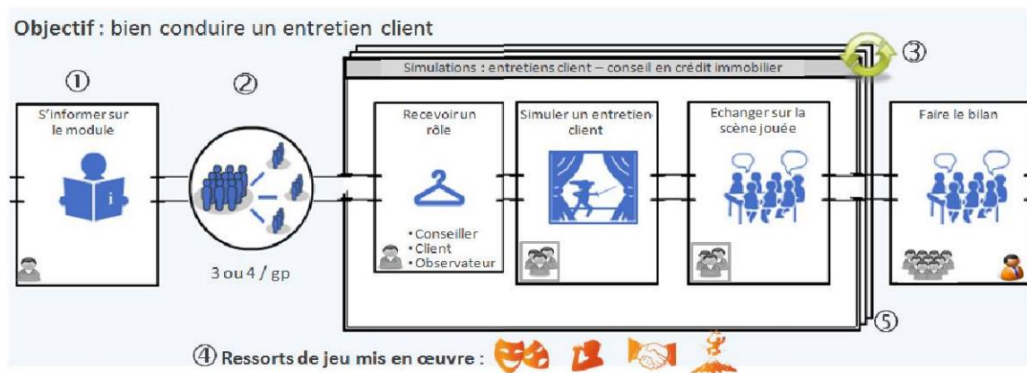


Figure 117 : Extrait de scénario modélisé avec ScenLRPG

Chaque salle (représentée par un carré noir) regroupe des espaces d'activité en lien avec le parcours des joueurs (l'étape de gestion des rôles de la simulation, l'activité de simulation en elle-même et l'étape de débriefing). Au même niveau de granularité que les espaces d'activité, on trouve également les points de constitution de groupes et les vestiaires (espaces de gestion des rôles).

Pour permettre cette activité, une division des acteurs en groupe de 3-4 est réalisée. Afin de préciser les caractéristiques ludiques à intégrer dans la salle, les ressorts ludiques (présenté en V.1.4.1) sont utilisés.

V.2.3.6 Modèle de Marfisi

Marfisi (Marfisi-Schottman, 2012) propose un modèle de jeu pédagogique (Figure 118) centré sur la transition entre objectifs pédagogiques et scénario ludique. Dans ce modèle, les objectifs pédagogiques (compétence, connaissance et savoir-faire) sont appris à travers des modèles organisés en modules, actes et activités pour la partie pédagogique de sa trame scénaristique.

Cette trame scénaristique est entourée par des missions, séquences et écrans qui confèrent au scénario un aspect ludique.

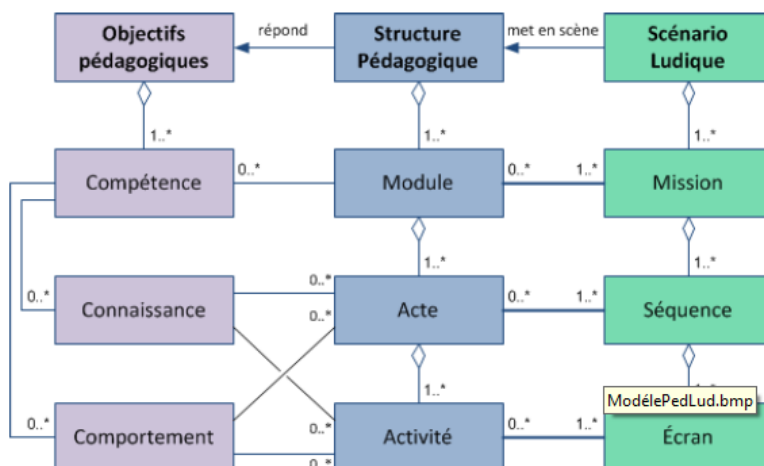


Figure 118 : Modèle de Marfisi (Marfisi et al., 2012)

Grâce à LEGADEE (Marfisi et al., 2012), outil de description des jeux pédagogiques (Figure 119), les concepteurs peuvent modéliser le scénario à mettre en place dans un jeu pédagogique en le décrivant par l'intermédiaire de ce modèle. L'outil propose une formalisation du scénario ainsi modélisé, exportable en fichier de description XML.

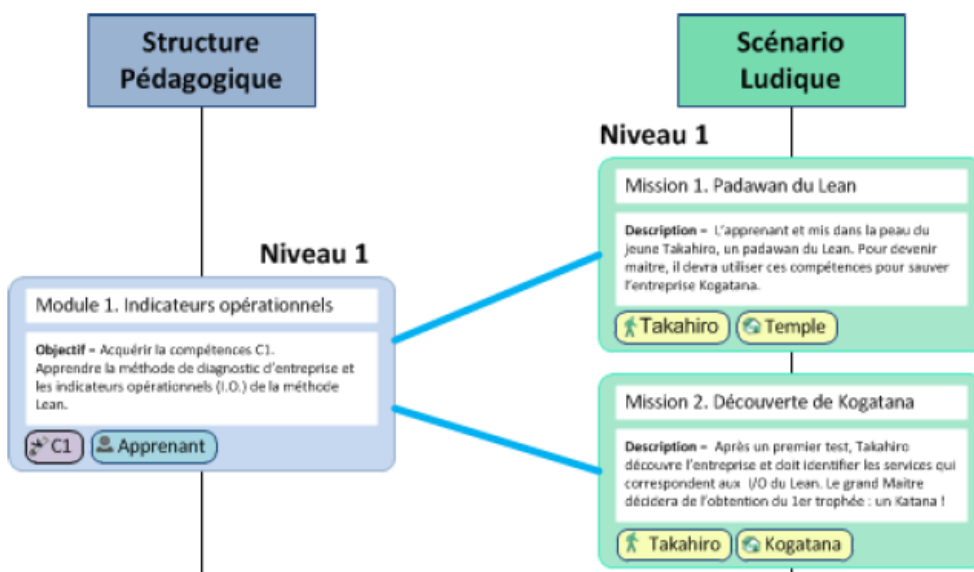


Figure 119 : Extrait de scénario proposé dans LEGADEE

Dans cet extrait de scénario (Figure 119), le scénario modélisé met en lien la compétence C1 avec un module pédagogique. Ce module vise à atteindre des connaissances sur la méthode C1. Pour permettre cet apprentissage, l'utilisation de deux missions est choisie. Dans la première mission, le joueur doit utiliser ses compétences pour accomplir le but du jeu. Cette mission est ensuite précisée au niveau de la séquence de jeu (non visualisé dans la Figure 119), de manière à, petit à petit, arriver au niveau de détail de la spécification de chaque écran, avec possibilité de sélectionner des composants de jeu pédagogique dans une banque de données.

V.2.4 Méthodes de conception de jeux pédagogiques

Dans le domaine du jeu, le terme « Game design » peut se traduire par « conception de jeu ». Cette traduction renvoie à la définition donnée par (Salen et al., 2003). Par extension, le « Serious Game Design » et le « Learning Game Design » sont les processus de conception d'un jeu sérieux et d'un jeu pédagogique.

Nous présentons ci-après quelques processus de conception représentatifs des méthodes utilisées dans le jeu et le jeu pédagogique.

V.2.4.1 Modèle de de Freitas

Le cadre de conception de de Freitas (de Freitas et al., 2006) est issu d'un travail fait avec des tuteurs pédagogiques et des apprenants pour comprendre quel type de jeu est choisi et utilisé (de Freitas et al., 2008). Une des principales conclusions de cette étude est que les tuteurs n'ont pas assez d'idées sur le jeu à utiliser (et à réaliser). Pour faciliter la prise de décision sur le jeu à choisir, de Freitas propose de se baser sur quatre dimensions (Tableau 5).

Spécificités des apprenants : <ul style="list-style-type: none"> • Profil • Rôle • Compétences • Age • Nombre 	Pédagogie : <ul style="list-style-type: none"> • Associative • Cognitive • Sociale • Située
Représentation — IHM : <ul style="list-style-type: none"> • Fidélité • Interactivité • Immersion 	Contexte : <ul style="list-style-type: none"> • Environnement • Accès à l'apprentissage • Ressources disponibles

Tableau 5 : Les dimensions d'un jeu pédagogique selon de Freitas (de Freitas et al., 2006)

Cette méthode précise la manière de définir le jeu ainsi que les importants principes et mécaniques du jeu.

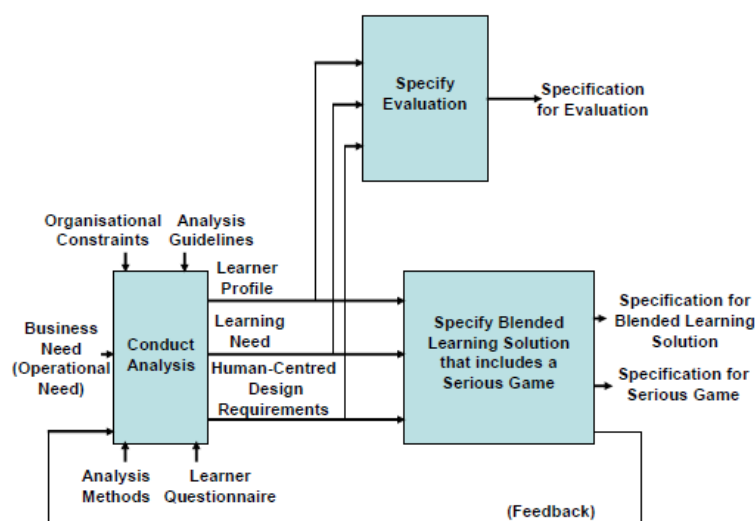


Figure 120 : Processus de conception de de Freitas (de Freitas et al., 2006)

Ce processus itératif intègre trois étapes :

- l'analyse des besoins ;
- la définition d'une évaluation ;
- la spécification d'une solution.

Ce modèle met en exergue quatre dimensions qui sont pour nous déterminantes dans l'évaluation des jeux pédagogiques : les apprenants, l'apprentissage à réaliser, la manière de contrôler/représenter les informations numériques et le contexte d'utilisation du jeu.

V.2.4.2 Le processus de Djaouti

Djaouti (Djaouti, 2011) propose dans sa thèse douze méthodes de conception et en fait une synthèse reprenant trois étapes récurrentes dans la conception d'un jeu :

- **Imaginer** : l'équipe créative invente un concept de jeu. Cette phase d'imagination va jusqu'à la formalisation du besoin sous forme de cahier des charges ;
- **Créer** : l'équipe d'ingénierie, à partir d'un cahier des charges, transforme l'objet cognitif formalisé en objet fonctionnel et tangible.
- **Évaluer** : après la création du jeu, celui-ci est confronté aux utilisateurs finaux.

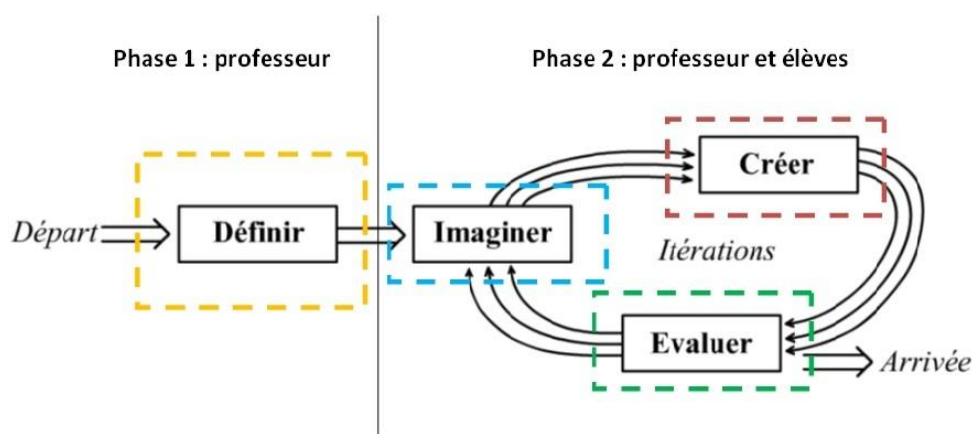


Figure 121 : Le processus DICE (Djaouti, 2011)

Djaouti propose dans ces travaux un moyen de désambiguïser le terme de « conception ». Dans certains cas, « conception » est employé pour parler de l'étape d'imagination de l'idée, dans d'autres cas, de l'étape de création, et encore dans un dernier cas pour l'ensemble du processus. Nous considérons cette séparation importante et nous en conservons le concept. Cependant, le terme d'imagination ne nous convient pas parfaitement puisqu'il fait initialement référence à l'« insight » (l'émergence de l'idée sous forme tacite) (Kohler, 1917), alors que dans le cas présent, l'étape d'imagination va jusqu'à sa formalisation (en information explicite). Nous préférons alors parler de « conception ludico-éducative » ou de « scénarisation » pour cette première étape.

V.2.4.3 Le processus de Marfisi

Pour accélérer le processus de conception des Jeux Pédagogiques, Marfisi (Marfisi et al., 2010) propose une méthode qui est une évolution et une adaptation de la méthode MISA (Paquette et al., 1999) aux jeux pédagogiques (Figure 122).

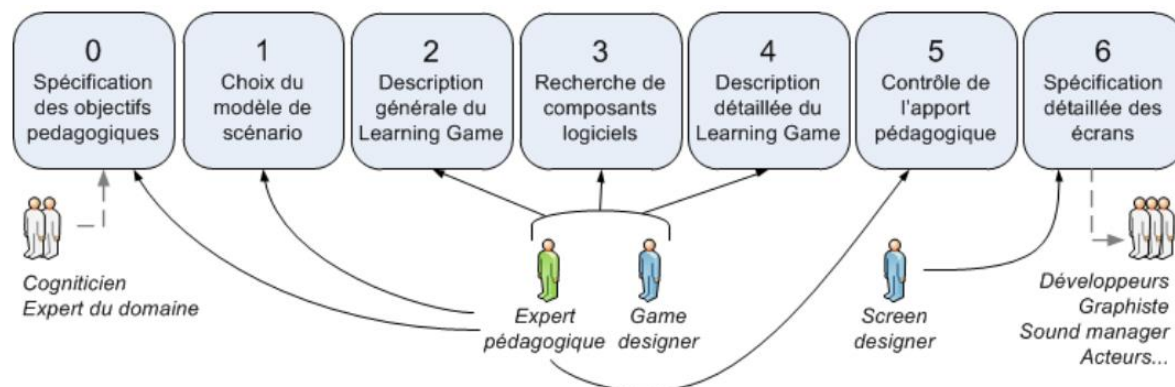


Figure 122 : Les sept étapes de la conception d'un jeu pédagogique (Marsifi et al., 2010)

Dans ce processus de conception sept phases sont identifiées :

0. L'expert du domaine d'apprentissage et le cogniticien proposent ensemble une modélisation formelle et structurée des connaissances à apprendre ;
1. L'expert pédagogique définit à partir des besoins pédagogiques une activité ludique ;
2. L'expert pédagogique et l'expert ludique (« Game Designer ») collaborent ensuite pour produire une description formalisée du jeu ;
3. À partir des limitations techniques, technologiques ou de coûts, les choix de production sont réalisés ;
4. Le cahier des charges est précisé par une description textuelle du scénario et des mécaniques utilisées ;
5. L'expert pédagogique estime l'apport pédagogique théorique du dispositif imaginé ;
6. Un concepteur (« Level Designer ») produit des prototypes non fonctionnels (de type écran) et les ajoute au document produit en phase quatre.

Dans ce modèle, l'étape suivante est de proposer aux développeurs, graphistes et musiciens de produire le jeu à partir du cahier des charges du jeu pédagogique.

Ce processus de conception constitue pour nous une référence en termes de collaboration multidisciplinaire, identifiant et mettant en avant les différentes professions nécessaires à la conception d'un jeu pédagogique. Nous pensons que ce processus n'intègre que trop peu la production du jeu dans le processus de conception. Ainsi, la transition entre la formalisation du besoin et celle de réponse à ce besoin n'est, à notre sens, pas suffisamment explicité et formalisé pour permettre une création efficace du jeu.

V.2.4.4 Le processus de conception de Mariais

Mariais (Mariais, 2012) modélise pour les Learning-Role Playing Games une démarche de conception en cinq étapes clés (Figure 123) :

1. Définition du problème de conception ;

2. Définition d'une esquisse de solution ;
3. Définition d'un scénario générique ;
4. Définition d'un scénario contextualisé ;
5. Utilisation du jeu pédagogique.

Deux étapes de développement sont incluses dans le processus, mais ne sont pas renseignées outre mesure.

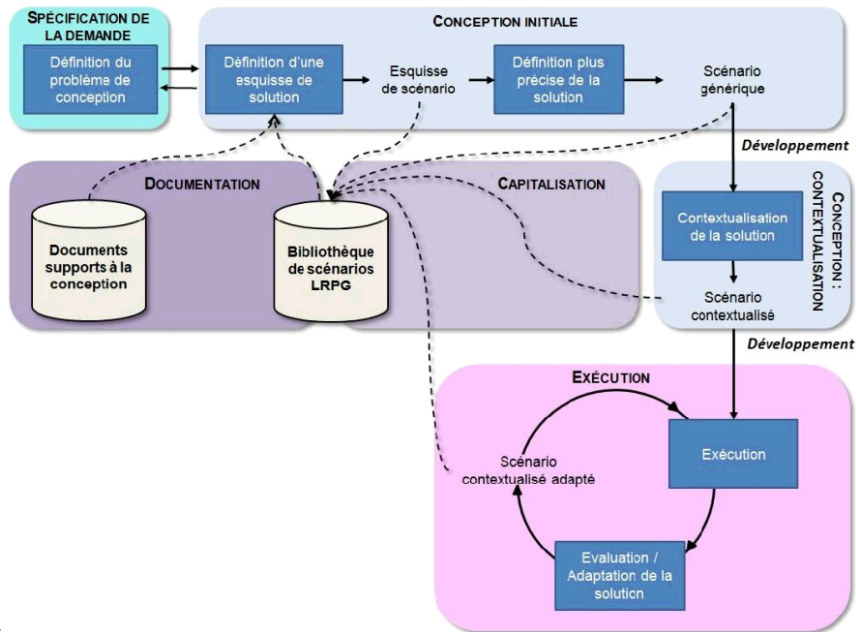


Figure 123 : Processus de conception de (Mariais, 2012)

V.2.4.5 Le modèle de conception centrée joueur de Kumar

La conception centrée joueur (Kumar et al., 2013) est un processus de conception qui place l'utilisateur et le but au centre du processus de conception et de développement (Figure 124).

Le processus de conception, pour pallier l'échec d'environ 80% des jeux réalisés, propose ainsi de changer les habitudes de conception. Le constat d'échec est principalement dû à des problèmes de conception centrée sur l'information et/ou les dispositifs technologiques. Cette méthode est issue des méthodes centrées utilisateurs (User Centered Design) (Norman, 1988) particulièrement utilisées dans la réalisation d'IHM.

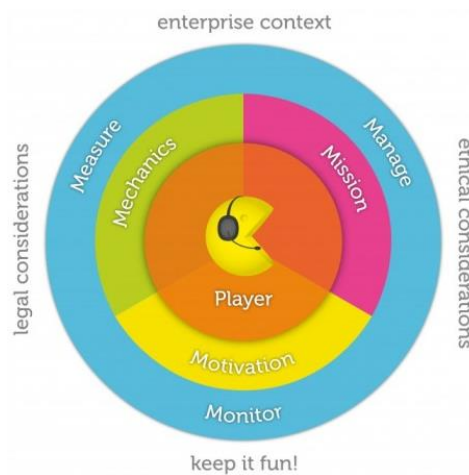


Figure 124 : Méthode de conception centrée joueur (Kumar et al., 2013)

Pour cela, la ludification doit se faire dans un esprit d'engagement, pour procurer des moyens d'atteindre les buts visés d'une manière plaisante et engageante.

La conception centrée sur le joueur est une méthode itérative, qui oriente la conception vers la transformation d'une activité d'apprentissage en activité ludique à partir de cinq étapes :

- définir les profils des apprenants-joueurs et du contexte d'apprentissage ;
- définir les objectifs pédagogiques à partir du besoin d'apprentissage et de l'utilisation future des compétences ;
- définir les motivations des apprenants pour l'apprentissage (motivations intrinsèques et extrinsèques) ;
- utiliser des mécaniques de jeu pour la ludification de l'activité (les points, le classement...) ;
- proposer des outils de contrôle pour permettre aux joueurs et aux enseignants d'avoir des panneaux de contrôle et de surveillance des activités.

Ce processus de conception est centré sur l'émergence de l'idée de jeu pédagogique et ses auteurs considèrent la production du jeu comme étant juste une étape de prototypage. Ce processus de conception met en exergue un besoin de processus itératif, centré sur l'utilisateur qui est nécessaire pour concevoir un jeu pédagogique ayant un réel intérêt pédagogique. Nous faisons encore une fois le constat d'une lacune entre la formalisation de l'idée et la création de l'objet.

V.2.4.6 **Conclusion sur les méthodes de conception de jeux et de jeux pédagogiques**

Le mot « conception » fait référence, en fonction des domaines et des auteurs, à plusieurs concepts en fonction de leurs propres travaux.

Selon les cas, la conception commence à partir du constat d'un besoin, de l'émergence d'un objet cognitif ou de l'émergence de l'objet tangible. La fin de la phase de conception est située aussi à différents moments selon les auteurs : à la fin à la rédaction des besoins formalisés, à la fin de la création de l'objet ou alors peut aller jusqu'à son utilisation (et les retours sur son utilisation).

Pour ne pas être trop ambigu sur le terme de « conception », nous l'utilisons, pour faire référence à l'intégralité du processus, de l'émergence de l'idée jusqu'à l'évaluation de la conformité de la solution proposée par rapport aux besoins initiaux.

Cet état de l'art nous a permis de mettre en avant une lacune indéniable dans les processus de conception présentés : la transition entre l'étape d'imagination et celle de production est souvent négligée.

Nous nous intéressons donc spécifiquement à la conception du jeu à partir de cette étape de formalisation du jeu jusqu'à la production des objets tangibles associés. Pour cela, nous cherchons à prendre en compte au départ de notre processus les travaux concernant la formalisation des caractéristiques des jeux pédagogiques et plus spécifiquement des jeux pédagogiques collaboratifs situés.

V.3 Jeux pédagogiques collaboratifs situés

V.3.1 Définition

Nous définissons un Jeu Pédagogique Collaboratif Situé comme « un **outil pédagogique** mettant en œuvre **des mécaniques de jeu** se déroulant dans un environnement prenant en compte les caractéristiques **physiques** et **numériques** et supportant l'apprentissage **collectif** de résolution de problèmes ».

Le terme de jeu pédagogique collaboratif situé (JPCS) n'est pas unique. Les différents auteurs de la communauté peuvent lui donner d'autres noms comme le « jeu pédagogique en réalité mixte » (Mixed Reality Learning Game), « jeux pédagogiques en réalité augmentée » (augmented reality Learning Game) ou encore « serious game mixte ».

Nous préférons la dénomination de « jeu pédagogique collaboratif situé » pour distinguer les aspects relatifs à l'apprentissage des aspects relatifs à l'environnement d'apprentissage. Parler des aspects « situés » plutôt que de « réalité mixte » met en avant la distinction entre activité d'apprentissage et environnement technologique pour l'apprentissage. L'apprentissage situé est réalisé grâce à l'environnement mixte (environnement informatisé mixte pour l'apprentissage humain).

D'un point de vue disciplinaire nous situons le JPCS à la croisée du jeu d'apprentissage collaboratif (lui-même à la croisée du jeu, des environnements informatisés d'apprentissage humain et des activités collaboratives) et des activités en environnement mixte et ubiquitaire.

Comme nous l'avons déjà évoqué en chapitre 2, deux types de situations nous intéressent :

- Les situations réalisées sur un lieu professionnel, que ce soit en situation de travail ou en simulation, avec utilisation de réalité augmentée pour les apports contextualisés d'informations et utilisation de dispositif mobile pour la visualisation de scénarios ludiques ;
- Les situations proposées sur un lieu d'apprentissage, avec augmentation du lieu par l'utilisation de dispositifs interactifs facilitant la réalisation de simulation d'activité professionnelle.

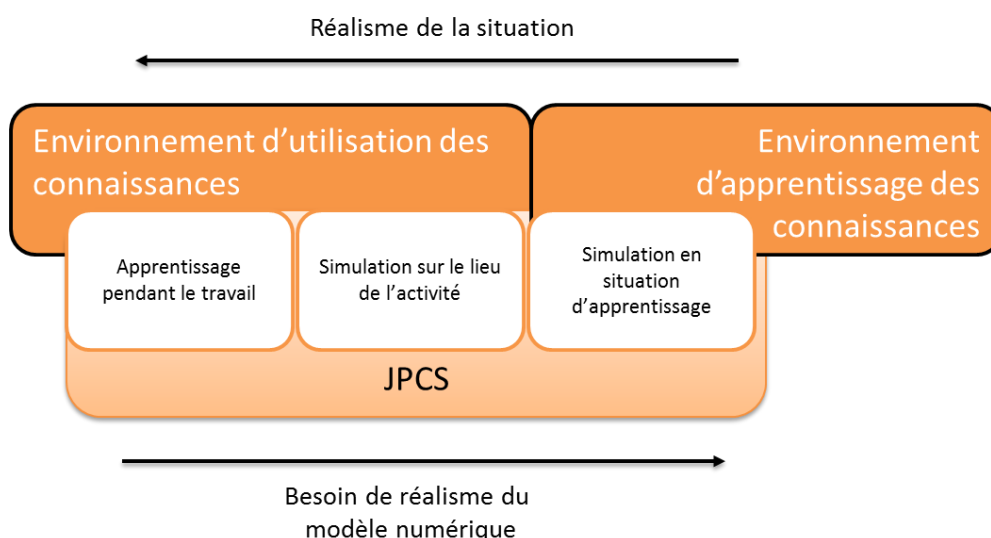


Figure 125 : Lieu et type d'activités des JPCS

Nous proposons donc l'utilisation de jeux pédagogiques dans trois types d'activité (Figure 125):

- les activités professionnelles, avec une activité et un environnement authentique ;
- les simulations réalisées dans l'environnement professionnel, avec une activité simulée, mais un environnement authentique ;
- les simulations réalisées en classe, avec utilisation de dispositifs interactifs simulant les postes de travail effectifs et une activité simulée.

Plus l'environnement et l'activité sont simulés, plus la complexité de cette simulation est importante.

Nous orientons les activités du JPCS vers :

- **l'intégration de connaissances directement dans les objets du jeu et leur utilisation dans les activités proposées ;**
- **l'utilisation de buts du jeu, faisant le lien avec les objectifs d'apprentissage ;**
- **un environnement de jeu utilisant l'environnement numérique et physique, de manière à profiter des avantages de chacun des deux mondes ;**
- **une activité à plusieurs, favorisant les mécaniques d'échanges sociaux telles que la coopération, la collaboration, la compétition et l'entraide.**

V.3.2 **Intégration du contenu pédagogique dans les éléments du JPCS**

Les JPCS que nous proposons sont à intégrer dans une formation plus globale, avec des phases de pur apprentissage et des phases de jeu. L'apprentissage classique est réalisé en classe selon une méthode magistrale et le jeu permet de motiver les apprenants et de consolider leurs connaissances théoriques.

Ces phases de consolidation sont réalisées par des activités qui intègrent des objectifs pédagogiques. Ces objectifs en suivant la logique d'intégration intrinsèque des connaissances sont intégrés au jeu. L'intégration du contenu pédagogique dans les éléments ludiques peut se faire ainsi :

- un savoir-faire à apprendre peut définir l'objectif d'un JPCS ;
- une procédure à apprendre peut structurer les tâches (abstraites) à réaliser dans le JPCS ;
- un fait à apprendre peut être perceptible dans les propriétés d'entités du jeu ;
- une règle à apprendre est utilisée par les apprenants et/ou constitue un fonctionnement clé d'un des éléments du jeu ;
- un geste professionnel à intégrer est exécuté par l'apprenant via une technique d'interaction concrète dans le JPCS.

Nous proposons en §VI.3.6.5 une manière de les injecter dans l'architecture du JPCS.

V.3.3 **Aspects collaboratifs des JPCS**

Les activités collaboratives supportées par ordinateur sont les activités humaines faisant intervenir plus d'une personne. Les outils associés à ces activités sont appelés des collecticiels ou des synergiciels (groupware) (Ellis et al., 1991).

Les domaines d'applications sont particulièrement vastes, allant des logiciels d'aide à la maintenance à l'apprentissage et dans des domaines d'applications allant du militaire au médical.

V.3.3.1 Distinction spatio-temporelle

Une distinction classique faite dans le monde du TCAO est proposée par Johansen (Ellis et al., 1991) selon la temporalité et la distance des interactions sociales entre les participants. Les utilisateurs d'un système peuvent interagir :

- au même moment (de collaboration synchrone) ;
- à des temps différents (collaboration asynchrone).

Concernant la distance des utilisateurs, ceux-ci peuvent :

- être à distance ;
- être présents dans le même lieu.

Les activités collaboratives peuvent être classées dans l'un des quatre sous-espaces (Figure 126). L'un des objectifs des groupwares est d'abolir les dimensions de distances et de temps (David, 2001).

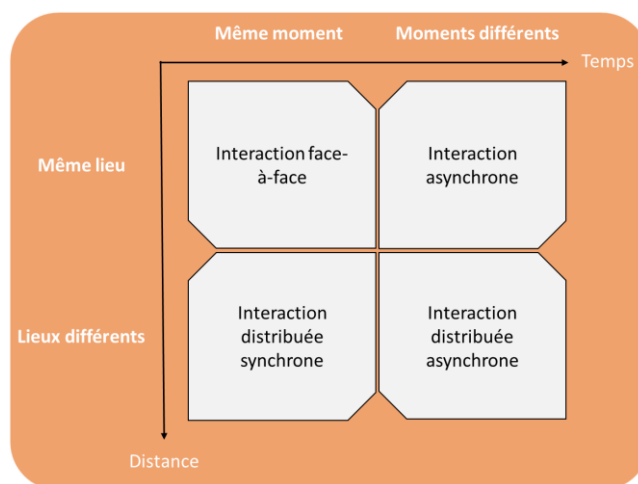


Figure 126 : Taxonomie espace-temps des collecticiels (Ellis et al., 1991)

Nous nous sommes basés sur les collecticiels comme source d'inspiration sur la manière de proposer des activités collaboratives. Dans ce domaine, on considère généralement les concepts suivants :

- **acteurs, personnage et rôle** : chaque acteur participant à l'activité est représenté par un personnage. Un personnage possède un rôle défini par des droits par rapport aux actions possibles et d'accès à l'information.
- **Groupe** : un groupe est un ensemble de personnes ayant un but commun ;
- **Droit** (d'accès/modification) : Ensemble des informations/actions auquel un rôle a accès. Le droit d'accès peut être total ou partiel ;
- **Tâche** : Action d'un acteur, découlant d'un comportement applicatif ;
- **Awareness** : Perception pour un acteur des autres acteurs et de leurs activités.

Pour classer les activités collaboratives informatisées, Engeström (Engeström, 1992), Ellis (Ellis et al., 1994) et Salbert (Salbert, 1995) proposent un découpage en trois catégories d'activités :

- La communication permet l'échange entre les acteurs ;

- La production permet la construction ;
- La coordination permet de faciliter les possibilités d'organisation d'action.

Dans le cadre de JPCS, nous privilégions pour la co-construction de connaissances les activités réalisées en présentiel. Le présentiel permettant la communication non médiatisée et une adaptativité de chacun aux activités des autres.

V.3.3.2 Les types d'activités de groupe considérés

Le jeu fait intervenir un nombre plus ou moins important de joueurs pouvant être organisés en équipe (Figure 127). Les relations entre groupes et au sein du groupe peuvent être multiples, nous retenons quatre types de relations possibles :

- des buts **communs**, où les joueurs sont alors concernés par cet objectif commun et s'organisent pour atteindre ce but ;
- des buts **concomitants**, où les joueurs ont des buts différents, mais où la coopération facilite les activités de chacune des parties ;
- des buts **divergeant**, où les joueurs ont des buts différents avec une complexification de l'activité de l'autre groupe lorsque l'un progresse vers son propre but ;
- des buts **opposés** où les joueurs sont en compétition avec un but de l'un qui empêche le but de l'autre ;
- **une indépendance vis-à-vis des autres**. Les joueurs ont une activité qui n'a aucune incidence sur les activités des autres.

Aussi, au sein d'un groupe, où le but des différents acteurs est identique, les activités peuvent être :

- coopérative, lorsque l'activité est organisée explicitement entre les différents membres du groupe ;
- collaborative, lorsque la distribution de l'activité est libre avec émergence d'une organisation collective libre.

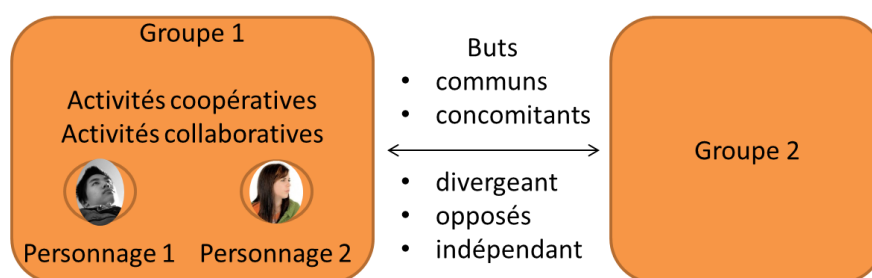


Figure 127 : Relation entre et à l'intérieur d'un groupe

Nous faisons une distinction entre joueurs, personnages contrôlés et rôles joués. Le joueur est la personne réelle qui utilise le jeu pour apprendre, qui contrôle et perçoit un personnage du jeu. Un personnage est une instance de rôle, défini par les possibilités de perceptions et d'actions réalisables sur l'environnement de jeu. Chaque joueur peut, dans certains cas, avoir le contrôle de plusieurs personnages et ainsi avoir plusieurs rôles en même temps. De la même manière, un personnage peut-être contrôlé par plusieurs joueurs.

V.3.4 Méthode de conception d'un JPCS

V.3.4.1 L'émergence de l'idée

Nos travaux s'intègrent dans le projet SEGAREM (Serious Game et Réalité Mixte) (voir § 1.2). Dans ce contexte projet, Orliac (Orliac, 2012), propose de son côté une méthode pour faciliter le processus de scénarisation pédagogique-ludique d'un JPCS.

Ce modèle constitue une des manières dont une idée peut émerger dans le cadre de la conception d'un JPCS. Il est possible aussi de discriminer différents contextes de conception :

- La création d'un jeu pédagogique à partir d'un besoin pédagogique et de solutions non satisfaisantes ;
- La création d'un jeu pédagogique à partir d'un concept ludique à fort potentiel pédagogique ;
- La création d'un jeu pédagogique avec un choix prédéfini de technologies/dispositifs interactifs à utiliser ;
- La transposition d'un jeu d'entreprise vers un jeu pédagogique ;
- La transposition d'un jeu pédagogique vers un jeu pédagogique collaboratif situé.

Dans ces différents cas, les contraintes à prendre en compte sont de plus en plus importantes, et ainsi l'espace des solutions possibles est de moins en moins grand. Cette phase est une première phase permettant de décrire à l'aide d'un langage non formel une solution qui pourrait être mise en place. Cependant, il est nécessaire d'avoir à ce moment du projet une interaction forte entre l'équipe qui propose une idée et celle qui cherche à la réaliser, afin d'adapter les concepts du jeu pédagogique aux contraintes du passage au concret.

V.3.4.2 f-MRLG comme formalisme pour décrire les JPCS

Marfisi (Marfisi et al., 2010) (V.2.4.4) et Mariais (Marias et al, 2011) proposent respectivement des modèles et outils afin d'aider à la créativité et à la formalisation des jeux pédagogiques en vue de leur production. Cependant ces outils ne prennent en compte l'environnement et l'aspect fortement interactionnel présent dans les environnements mixtes.

Pour pallier ce manque, Orliac (Orliac, 2012) propose le formalisme f-MRLG inspiré des travaux de Marfisi, pour modéliser la scénarisation d'un jeu pédagogique en réalité mixte (Figure 128).

Le formalisme utilise deux niveaux de descriptions :

- Les spécifications générales exprimées permettent une description à la fois des caractéristiques principales du JPCS, au niveau des apprenants, de la pédagogie à utiliser, du jeu à utiliser et de l'environnement d'utilisation du jeu ;
- Un scénario de jeu, qui selon une décomposition en cas, situations, séquences et tâches permet de décrire les actions des utilisateurs, associés à des personnages du jeu avec des éléments de l'environnement du jeu, que ce soit des objets physiques, des dispositifs interactifs, ou des éléments numériques perceptibles.

Le formalisme utilise une double décomposition du scénario, comme proposé par Marfisi (Marfisi-Schottman, 2010), avec une partie associée aux besoins pédagogiques, et une partie liée à une séquence d'activités à faire réaliser aux apprenants. Cette étape de créativité et de formalisation est supportée par un outil d'aide, MIRLEGADEE, réalisé sous forme de site web qui permet l'export des spécifications sous un format XML.

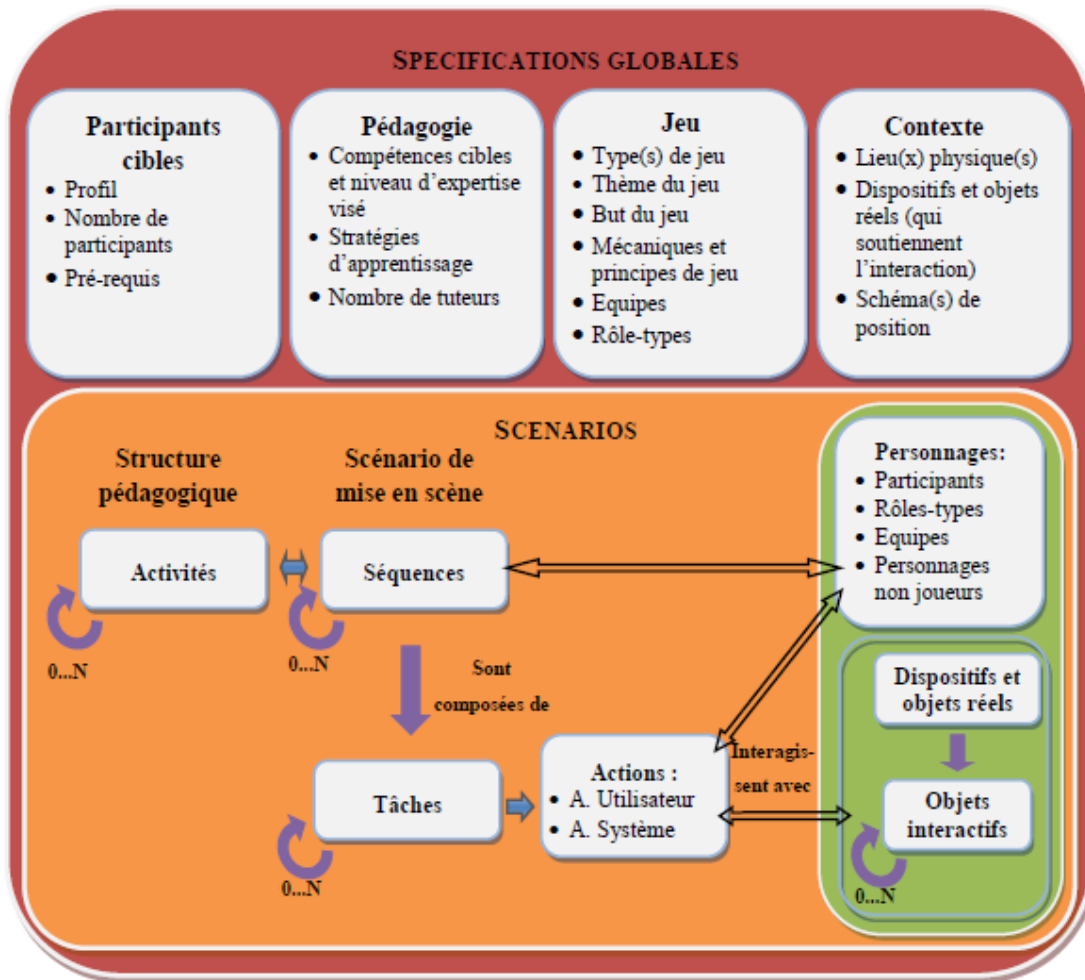


Figure 128 : Modèle d'Orliac (Orliac, 2012)

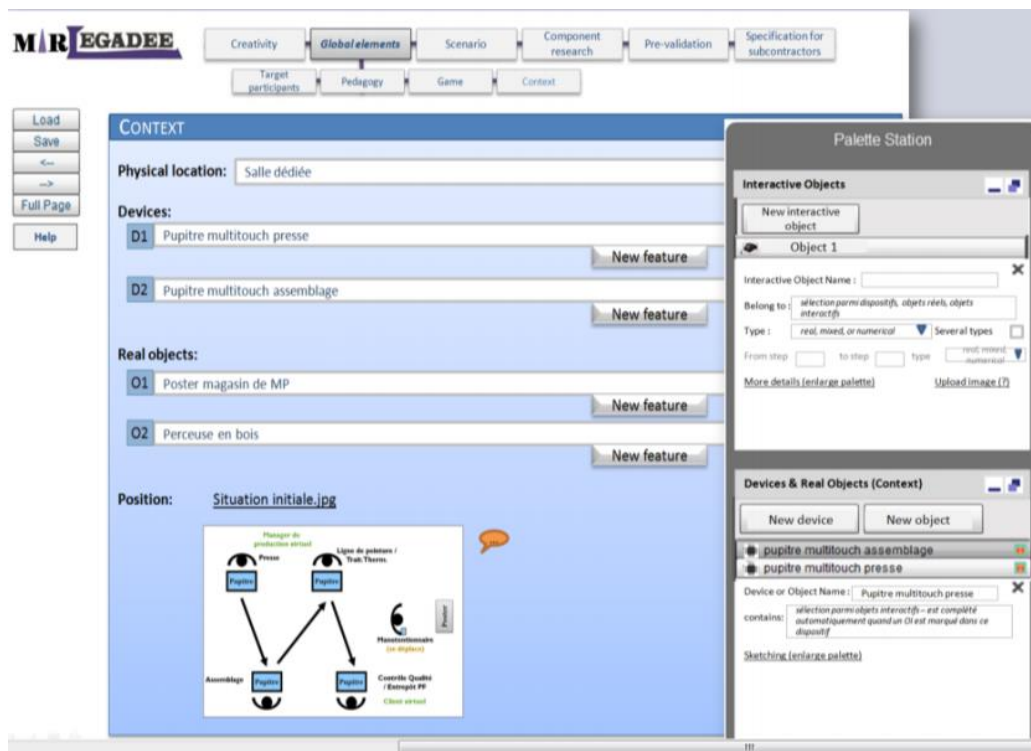


Figure 129 : L'outil de modélisation MIRLEGADEE (Orliac, 2012)

Dans MIRLEGADEE (Figure 129), il est ainsi possible d'inclure des schémas permettant de visualiser la configuration spatiale de l'environnement ainsi que de préciser des dispositifs utilisés. De cette manière, les concepteurs peuvent faire une première modélisation (non formelle) de l'environnement mixte interactif.

V.3.4.3 Limites du formalisme f-MRLG

L'approche utilisée est intéressante, mais insuffisante pour permettre la création d'un JPCS. En effet ce modèle s'oriente de manière formelle quasi exclusivement sur les problématiques scénaristiques de haut niveau et sur l'activité propre réalisée par l'utilisateur de bas niveau. L'approche scénaristique basée sur la prise en compte des besoins pédagogiques est nécessaire et correspond à l'approche de IMS-LD (IMS Global Consortium, 2003) (description de l'activité à partir d'un scénario décomposé en trois niveaux), mais adaptée au jeu. Hormis dans le cas d'apprentissage direct de gestes, l'approche orientée vers les tâches concrètes ne semble pas être adaptée à la description du scénario.

Le fait d'avoir un scénario de haut niveau semble être nécessaire à la conception d'un jeu, cependant le choix d'un modèle décrivant les activités macroscopiques de la même manière que les gestes concrets est difficile dans le cadre des jeux. En effet, le jeu permet des activités libres, mais cadrées par des règles. L'ordonnement de différentes tâches effectuées par les utilisateurs est impossible à décrire à un grain précis.

Ainsi, l'approche proposée par Orliac (Orliac, 2012) est orientée vers le support de la créativité, mais non suffisante dans une logique de conception d'un JPCS. Dans ce sens nous avons constaté une dissonance entre l'activité de créativité et celle de production qui pour l'une demande une simplicité de compréhension rapide du formalisme, et pour l'autre demande une précision du fonctionnement du comportement beaucoup plus importante. Ainsi, le formalisme ne caractérise pas suffisamment le jeu pour déterminer un modèle comportemental du jeu et il est nécessaire de modifier le formalisme pour être en accord avec les besoins fonctionnels. Cependant, ces modifications ont un effet de bord : le formalisme perd de sa simplicité et ne peut pas être utilisé sans formation par des non spécialistes.

De notre côté, nous avons eu besoin, dans le cadre de la conception détaillée et la production de Lea(r)nIT (Chapitre VII) de certaines caractéristiques non présentes dans f-MRLG. En particulier, nous avons eu besoin de :

- la description de l'activité collaborative ;
- la description des interactions concrètes et leurs liens avec les objets du jeu ;
- la description de l'environnement mixte interactif ;
- la description de l'environnement virtuel proposant la simulation de jeu ;
- le comportement des différents objets du jeu ;
- la disposition des différentes entités du jeu ;
- la description des conditions de victoire.

Nous avons donc conservé l'idée de scénarisation formelle proposée dans f-MRLG, mais nous avons changé le modèle d'activité (passant d'un modèle comportementaliste à un modèle prenant en compte la théorie de l'activité) afin de mieux décrire l'aspect libre de l'activité de jeu. Nous avons de plus ajouté des modèles pour décrire l'environnement mixte de jeu, les entités qui sont présentes dans cet environnement ainsi que les objectifs pédagogique-ludique du JPCS.

Ainsi, avec prise en compte de ces limitations, f-MRLG et MIRLEGADEE sont utiles comme support à la créativité et peuvent être utilisés pour décrire les éléments de haut niveau de la trame scénaristique. Cependant, ce modèle ne peut être pour nous qu'un point d'entrée, car pas assez en rapport avec les besoins fonctionnels, et doit ensuite être précisé pour décrire réellement le fonctionnement du jeu et l'ensemble de caractéristiques fonctionnelles du jeu. Comme nous avons eu à réaliser nos propres modèles en même temps que ceux-ci, nous avons proposé nos propres solutions et n'avons pas pu joindre les travaux de Orliac et les nôtres.

V.4 Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre, nous avons proposé une compréhension de ce qu'est le jeu pédagogique collaboratif situé (JPCS) à partir des composantes ludiques, pédagogiques, collaboratives puis situées. Nous avons étudié les caractéristiques, les modèles et les méthodes de conception des jeux et les jeux pédagogiques.

Le jeu est basé sur l'utilisation de règles et de buts du jeu qui cadrent l'activité humaine motivée par des mécaniques de jeu (le temps, l'espace, les rôles, le Game Play et l'environnement fictionnel).

Les jeux pédagogiques intègrent un contenu pédagogique dans un environnement simulé bâti autour de buts, d'activité, de résolutions de problèmes dans et autour de caractéristiques ludiques issues de jeu. La structuration de scénario, les mécaniques de jeu et l'environnement sont pour nous les caractéristiques principales de ces outils pédagogiques.

Un des axes d'amélioration de ces jeux pédagogiques que nous avons ciblé est d'utiliser à la fois l'environnement physique du jeu pédagogique et un environnement informatisé utilisant des techniques interactivement avancées pour diriger l'activité collaborative ludo-éducative. Nous proposons pour ce fait l'utilisation de l'appellation « jeu pédagogique collaboratif situé » (JPCS). Ces JPCS utilisent autour d'une activité de groupe (collaborative, coopérative ou compétitive) (V.3.3) un mélange de contenu pédagogique et de caractéristiques ludiques dans un environnement signifiant. Nous proposons donc un moyen d'intégrer l'activité ludique dans l'activité pédagogique (méthode extrinsèque) et un moyen d'intégrer le contenu pédagogique dans l'activité ludique (V.3.2).

Jeux (V.1.4)	Jeux Pédagogiques (0)	JPCS (V.3)
Points	Caractéristiques d'un jeu	Caractéristiques d'un jeu pédagogique
Gameplay (V.1.4.1)	Objectifs pédagogiques (II.3.1.2)	Apprentissages collaboratifs (II.3.2.1)
L'espace-temps (V.1.4.2)	Stratégie d'apprentissage (II.3.1.3 et II.3.2)	Apprentissages situés (II.3.2.2) (II.3.2.2)
Les règles et buts de jeu (0)		Interaction tangible et réalité augmentée (III.1.2.1) (II.3.2.1)
L'environnement fictionnel (V.1.4.5)		

Tableau 6 : Synthèse des caractéristiques d'un jeu, jeu pédagogique et JPCS

La justification pédagogique a été faite en chapitre II, avec en particulier, l'utilisation des caractéristiques sociales de l'apprentissage (II.2.2.1), les corrélations successives de l'activité ludique et celle d'apprentissage permettent le processus de décontextualisation puis de recontextualisation, renforcées par les caractéristiques situées de nos JPCS, qui sont quant à eux justifiées dans le paragraphe §II.2.2.2. Nous proposons en synthèse les caractéristiques pour définir un jeu, puis un jeu pédagogique, puis un JPCS (Tableau 6).

Après avoir étudié les méthodes de conception du jeu et du jeu pédagogique, nous avons mis en évidence une lacune dans la conception dans les jeux pédagogiques : la transition entre la réalisation d'un cahier des charges (issu de la scénarisation ludo-pédagogique) et celle de création du jeu est rarement détaillée. Pour cela, nous proposons dans le chapitre VI une méthode pour intégrer les caractéristiques principales d'un JPCS dans un système informatique au moyen d'une méthode formelle.

Chapitre VI : Modèles, architecture et méthode de conception de JPCS

VI.1	NOS MODÈLES COMPORTEMENTAUX DE JPCS.....	164
VI.1.1	<i>Fondements théoriques.....</i>	164
VI.1.2	<i>Modèles d'orchestration de l'activité.....</i>	173
VI.1.3	<i>Modèle de tâches.....</i>	178
VI.1.4	<i>Modèle de déploiement de l'environnement mixte interactif (IME-DEMo).....</i>	180
VI.1.5	<i>Modèle de déploiement des objets – O-DeMo.....</i>	187
VI.1.6	<i>Modèle des objectifs du JPCS.....</i>	188
VI.1.7	<i>Modélisation des interactions homme-machine en environnement mixte.....</i>	191
VI.2	NOTRE MODÈLE D'ARCHITECTURE DE JPCS.....	200
VI.2.1	<i>Fondement théorique sur les architectures IHM.....</i>	201
VI.2.2	<i>Notre proposition d'agents AMF-C pour structurer le JPCS.....</i>	206
VI.3	NOTRE MÉTHODE DE CONCEPTION DE JPCS.....	215
VI.3.1	<i>Méthode CocSys comme point de départ.....</i>	215
VI.3.2	<i>Présentation générale.....</i>	219
VI.3.3	<i>Classification et formalisation des règles.....</i>	219
VI.3.4	<i>Modéliser les aspects fonctionnels du jeu.....</i>	220
VI.3.5	<i>Définir les comportements des entités du jeu.....</i>	220
VI.3.6	<i>Projeter les modèles sur l'architecture.....</i>	226
VI.4	NOS OUTILS D'AIDE À LA CONCEPTION, UTILISATION ET ÉVALUATION.....	230
VI.4.1	<i>Un outil d'aide à la conception.....</i>	230
VI.4.2	<i>Un outil de support d'utilisation.....</i>	232
VI.4.3	<i>Un outil de mesures et de supervision.....</i>	232
VI.5	CONCLUSION DU CHAPITRE.....	234

Produire un JPCS est un casse-tête, car celui-ci intègre en parallèle de multiples dimensions : dimension ludique, dimension pédagogique, des caractéristiques collaboratives et des caractéristiques informatiques. Nous avons conclu dans le chapitre V, qu'il existait une zone floue dans le processus de production de jeux pédagogiques, et que ce manque est encore plus présent dans le domaine des JPCS : des propositions sont faites quant à la manière de produire une idée et de formaliser un cahier de charges. Il n'y avait cependant pas de méthodes pour prendre en compte techniquement ces caractéristiques fonctionnelles.

Pour combler cette zone de flou, nous proposons :

- six modèles pour rendre explicites les exigences et permettre dans une démarche pluridisciplinaire, d'avoir plusieurs vues sur le système ;
- une architecture multicouches et multi agents (VI.2), laquelle nous permet d'avoir un moteur générique de JPCS, coordonnant les différents comportements du système ;
- un processus de conception (VI.3) basé sur les modèles et l'architecture d'accueil pour instancier formellement les entités et les comportements du JPCS et ainsi faciliter leur production par spécialisation.

Nous nous sommes inspirés de quatre travaux préalablement réalisés au sein du laboratoire, que nous avons modifiés ou affinés pour correspondre au mieux à nos besoins :

- Le modèle ORCHESTRA (David et al., 2006), comme modèle d'activité collaborative ;
- Le modèle IRVO (Chalon et al., 2005b), comme modèle d'interactions concrètes ;
- Le modèle AMF-C (Tarpin-Bernard et al., 1999), comme modèle d'architecture de systèmes interactifs collaboratifs ;
- La méthode de conception CoCSyS (Delotte, 2006) pour systèmes collaboratifs.

Après avoir présenté les théories et modèles qui ont inspiré nos recherches, nous décrivons les modèles que nous proposons pour décrire les JPCS. Une fois ceci fait, nous présentons le modèle d'architecture permettant le fonctionnement du JPCS et le processus de conception, dans le but de transformer les caractéristiques d'un JPCS en aspects fonctionnels d'un JPCS et permettre son exécution.

VI.1 Nos modèles comportementaux de JPCS

VI.1.1 Fondements théoriques

Un JPCS est un support d'activité d'apprentissage humain qui se déroule dans un environnement approprié. L'activité d'apprentissage est collaborative, ludique (le jeu - play) et située. L'environnement d'apprentissage est collaboratif et mixte et fonctionne comme une simulation (le jeu - game).

La théorie de l'Activité (Vygotsky, 1934 cité in Wertsch, 1981), postule que toute action est liée à l'environnement matériel et social dans lequel elle se déroule. Selon ce point de vue, les actions sont socialement et physiquement situées, et les circonstances (notamment leur perception par le sujet) conditionnent l'interprétation de l'action. Celle-ci est alors considérée comme une réponse spécifique à cet ensemble de circonstances correspondant à des ressources et des contraintes liées à l'environnement.

Le modèle structurel d'Engeström (Engeström, 1987) propose une modélisation générique du concept d'activité (Figure 130) en exprimant la médiation qui existe entre le sujet et l'objet de l'activité. Cette médiation est représentée par le concept d'outil. L'outil influence fortement l'activité, en supportant et en complétant les capacités humaines. « Outil » est pris ici dans un sens très général pour englober tout ce qui est utilisé dans le processus de transformation et donc recouvre aussi bien des outils matériels que des outils intellectuels. Il faut noter que l'objet de l'activité correspond à un besoin (objectif) ou un désir, qui motivent l'existence de cette activité.

Dans son modèle, Engeström (Engeström, 1987) met en rapport les sujets avec les outils proposés, les règles imposées, les possibilités d'interaction avec les autres membres de la communauté afin de réaliser une activité sur un objet pour produire un résultat.

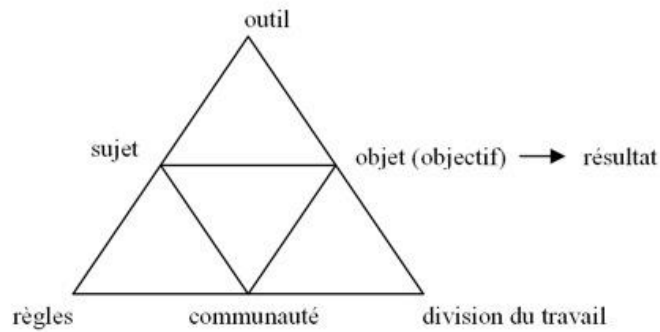


Figure 130 : Modèle de l'activité humaine dans un environnement (Engeström, 1987)

Pour décrire les relations de l'homme à son environnement social, physique et numérique, différents auteurs comme Rabardel (Rabardel, 1995), Beaudouin-Lafon (Beaudouin-Lafon, 2000) et Chalon (Chalon, 2004) proposent d'utiliser une approche instrumentale. Cette approche considère les objets selon leurs rôles (c'est-à-dire à quoi ils servent) dans les activités. Cette caractéristique est commune aux environnements physique et numérique.

Nous sommes convaincus de l'avantage de l'utilisation de cette approche instrumentale afin de considérer les entités présentes selon leurs possibilités d'actions dans l'environnement. De cette manière, il est possible de considérer un objet selon son rôle et non plus sa nature (physique ou numérique).

Dans le domaine des EIAH, de nombreux modèles ont été proposés pour scénariser l'activité. Ces modèles ne décrivent pas réellement l'activité, mais la scénarisation de celle-ci.

Dans les modèles de scénarisation les plus connus, nous pouvons citer MOT+ (Paquette, 2008) qui reprend le langage IMS-LD (IMS Global Consortium, 2003), LDL - Learning Design Langage (Martel et al., 2005) ou encore Isis (Emin, 2010).

Cependant, comme Orliac (Orliac, 2012) le montre, aucun de ces modèles ne considère l'activité réalisée dans un environnement contextualisé. Ces modèles ne sont donc pas satisfaisants pour mettre en relation une activité, un environnement et une interaction entre les deux. Nous revenons donc aux fondamentaux des modèles d'activité.

VI.1.1.1 Modélisation de l'activité

Les termes « activité » et « tâche » sont utilisés de manières différentes selon les auteurs. Ces différenciations viennent des théories dont elles sont issues qui sont de trois types (Appert, 2007) :

1. les théories cognitivistes ;
2. les théories comportementalistes ;
3. la théorie de l'activité.

■ Modèle cognitiviste

Les modèles « cognitivistes » se basent sur les processus cognitifs associés à la tâche dans le but de la représenter. Une tâche interactive est décrite en utilisant des éléments associés aux commandes machine, puis en termes de processus cognitifs associés correspondants aux actions utilisateurs. Des modèles cognitivistes comme GOMS (Card, 1984) existent, cependant, ceux-ci sont orientés vers la construction cognitive de l'activité d'un utilisateur, et imposent d'être utilisés en parallèle d'un modèle comportementaliste et d'un modèle associé au but de l'activité. N'ayant pas trouvé un moyen de lier correctement les modèles cognitivistes aux

autres types de modèle, nous n'avons pas utilisé ce type de modèle et par conséquent nous ne les détaillons pas ici. Nous nous concentrons sur les modèles comportementalistes et les modèles basés sur la théorie de l'activité, centrés respectivement sur la tâche et sur le but de la tâche.

■ **Modèle comportementaliste**

Les modèles comportementalistes utilisent un point de vue moteur pour décrire le modèle : pour une tâche donnée, le stade élémentaire est atteint au niveau de **l'action motrice**, qui peut être considérée comme une procédure indivisible, automatisée et inconsciente, faite par l'utilisateur, qui implique l'utilisation de fonctions motrices pour agir sur des entités (physiques ou numériques) de l'environnement.

Les modèles de tâches (comportementalistes) permettent d'indiquer la façon dont les éléments représentés (tâches pour la plupart) se subdivisent en sous éléments, et peuvent être :

- ordonnés ou libre ;
- dépendants ou indépendants ;
- séquentiels ou parallèles ;
- optionnels ou obligatoires.

La réalisation d'une tâche se base sur une relation entre plusieurs acteurs : l'utilisateur, l'objet du domaine de la tâche et un outil permettant sa modification.

Dès qu'il est question de préciser les sous-tâches de cette tâche, on formule une **procédure**, définissant un ordonnancement des différentes opérations, passant de l'abstrait au concret. Cette description met en valeur un enchaînement de tâches unitaires (ou élémentaires).

La plupart des modèles utilisés en IHM sont de ce type, par exemple CTT (Paternò et al., 1997), MAD* (Gamboa et al., 1997), et COMM (Jourde, 2011).

■ **Modèle basé sur la théorie de l'activité**

La théorie de l'activité se base sur le postulat que la conscience humaine n'est pas une composition d'actes cognitifs désincarnés, les raisonnements et les actions de l'homme sont également dépendants de son environnement social ou matériel.

Le modèle de l'activité de Léontiev (Léontiev, 1984) distingue trois niveaux de granularité de description de l'activité : les activités, les actions et les opérations (Figure 131). Les activités, qui s'étalent sur une période de temps importante, sont à distinguer des actions plus courtes qui les composent. Dans ce modèle, activités, actions et opérations sont des éléments emboîtés les uns dans les autres. Ils n'ont de sens que dans cet emboîtement complexe : une même activité peut être réalisée par des actions différentes ; à l'inverse, une action peut servir dans des activités différentes. Ainsi trois niveaux de description de l'activité existent (Léontiev, 1977) :

- Les **activités**, qui sont en relation directe avec un **objectif**, sont décomposées en étapes ou phases que sont les actions ou les chaînes d'actions. Les activités s'orientent relativement à des motifs, la plupart du temps collectifs, voire institutionnels ;
- Les **actions** sont utilisées pour réaliser une activité. Une action peut servir plusieurs activités et est dirigée par un but à atteindre. Les actions, sont plus généralement individuelles et ont chacune un but défini et immédiat ;
- les **opérations** sont des routines bien définies, utilisés en réponses inconscientes à des conditions rencontrées pour l'exécution d'une action correspondant à une réalisation concrète de l'action. Les opérations dépendent directement des conditions de réalisation

d'un but concret. (Léontiev, 1977).

Les actions et les opérations sont dans une relation dynamique, ce qui permet à une action d'être concrétisée inconsciemment en opération lorsque cette action devient routinière.

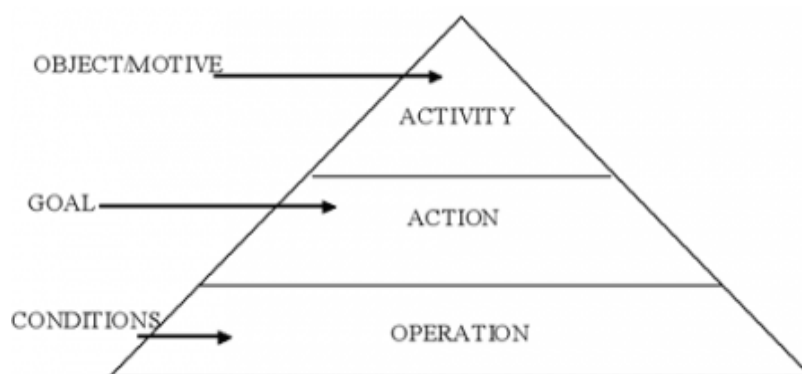


Figure 131 : Les trois niveaux de descriptions d'une activité (Léontiev, 1984)

En prenant l'exemple de la construction d'un abri (activité), il est nécessaire d'assembler la structure et transporter les matériaux (actions dirigées par des buts) en vissant, creusant et peignant (opérations).

L'utilisation de but dans la modélisation de l'activité est un sujet depuis longtemps étudié. Norman (Norman, 1986) définit un but comme la correspondance entre l'ensemble des états voulus et l'ensemble des états perçus du système, que nous assimilons ici à l'état effectif. Un but peut donc être formalisable comme un état du système correspondant à la fois à l'état de l'environnement et aux actions réalisées. Nous pouvons décomposer un but en sous-buts et préconditions intermédiaires pour atteindre cet état.

Pour cela, l'utilisateur d'un système doit prendre en compte quelles préconditions sont remplies afin de réaliser les autres au moyen de tâche associée. Les préconditions peuvent être liées au savoir-faire de l'individu, à ses connaissances ou à ses compétences, ainsi qu'au contexte environnemental et social. Une fois toutes les préconditions remplies, le but est atteint.

Lorsque la motivation (objectif) est de se faire un café, il est nécessaire d'avoir la matière première « café » (moulu ou en grain, en fonction des machines...). Par contre, la précondition « avoir de l'électricité » n'est nécessaire que dans le cas où la cafetière est électrique.

Vérifier une précondition peut devenir un but intermédiaire, associé à l'action. Une fois toutes les préconditions réunies, l'action principale permettant d'atteindre l'objectif peut être réalisée.

■ Synthèse

Les modèles comportementalistes réunissent de nombreux concepts dans un même modèle et ne correspondent pas à notre vision (ni à nos besoins). Par exemple les modèles CTT (Paternò et al., 1999) et (COMM) (Jourde, 2011) placent les aspects modaux et multi-utilisateurs au niveau des tâches.

Ces modèles comportementalistes décrivent la collaboration par différents arbres de tâches avec en particulier un arbre de tâches collaboratives. Cependant, en proposant le même formalisme pour décrire à la fois la collaboration, les tâches abstraites et les tâches concrètes, tous les concepts sont mélangés et ne permettent pas de séparer la structuration de l'activité relative aux buts et celle relative à la concrétisation de l'action.

Nous proposons en annexe 1 un liste des autres modèles d'activités collaboratives que nous

avons listés.

Nous structurons notre modélisation de l'activité en deux parties :

- **une activité se divise en actions, en relation étroite avec un objectif, de manière à atteindre cet objectif ;**
- **les actions sont permises grâce à un ensemble d'opérations réalisables par l'utilisateur, qui permettent de remplir une condition d'atteinte d'un but.**

Ainsi, nous réalisons une distinction entre l'activité collaborative de haut niveau, associée à des buts et objectifs et des tâches portées vers l'accomplissement de précondition (correspondant à la séparation entre les actions et les opérations au sens de la théorie de l'activité). Et cela, pour deux raisons principales :

- dans les activités de jeu qui sont, par essence, libres (même si elles sont cadrées par des règles), l'activité est auto-organisée, avec une grande adaptabilité de l'utilisateur à son expérience précédemment acquise ;
- La motivation de réaliser une activité est dépendante du nombre de possibilités d'actions à réaliser pour gagner.

En effet, pendant l'organisation des activités collaboratives, l'expression des capacités de l'individu, des caractéristiques sociales et des caractéristiques environnementales est nécessaire, alors qu'à un niveau microscopique (description de l'action en opération) seule la manière de réaliser l'action compte.

De manière à modéliser l'activité en prenant en compte ces distinctions entre activités et actions, nous utilisons le modèle ORCHESTRA-JPCS, notre adaptation d'ORCHESTRA (David et al., 2006), auquel nous relierons des modèles CTT (Paternò et al., 1999). ORCHESTRA-JPCS permet de décrire l'activité collaborative décomposant l'activité en action de chaque rôle, et les modèles CTT permettent de décrire les opérations.

Ainsi l'activité collaborative macroscopique (le script, l'histoire dans le jeu) est orientée vers la réalisation de buts et la description des opérations permet le passage d'une tâche abstraite à une tâche concrète (action en opération).

VI.1.1.2 Modélisation de l'environnement

■ La notion de distance numérique

La révolution numérique a radicalement changé la manière dont l'homme se comporte avec ses pairs et la manière dont il accède à l'information. En rendant l'information accessible partout et tout le temps, en offrant la possibilité de communiquer avec tout le monde, l'ensemble des différents services numériques proposés constitue une partie de notre réalité, mais ces informations sont encore facilement différenciables perceptiblement de celles de l'environnement physique (Serres, 2007). **Une différence probante entre environnements physique et numérique réside dans la caractérisation spatiale des différentes entités.** Dans l'environnement physique, une personne peut entendre la voix de son interlocuteur seulement dans une zone où la propagation du son est suffisante, alors que dans l'environnement

numérique, deux entités peuvent communiquer dans les conditions où les spécifications de l'environnement le prévoient.

Si la notion de distance dans un environnement physique correspond à l'éloignement physique, qui par exemple est caractérisé par la longueur entre deux points en géométrie euclidienne, **la distance dans un environnement numérique n'est pas absolue** et ne correspond qu'à la définition voulue par les concepteurs du système. Un système de messagerie permet l'envoi de message à toute autre adresse, selon le principe « chacun connecté à tous ». Il est alors possible de considérer les différents individus comme étant à « équidistance ». Dans certains réseaux sociaux la communication ne peut se faire qu'avec les personnes dites « amies » ou bien appartenant à un groupe commun, la distance entre utilisateurs est alors basée sur le nombre minimum de relations d'individu à individu qui existent pour relier deux personnes (en l'occurrence, dans ce type de réseau, il est souvent possible de percevoir des informations/communiquer avec les entités numériques de distance 1 ou 2).

Aussi, certains jeux vidéo multi-joueurs se basent sur la notion d'instance de jeu pour considérer les avatars comme faisant partie d'un même environnement. Cette caractéristique permet d'avoir plusieurs mondes qui vivent et évoluent en parallèle, de la même manière qu'en science-fiction il existerait plusieurs dimensions, avec des évolutions de cheminements possibles entre chacune des dimensions existantes.

Si nous partons de l'hypothèse que la distance peut être considérée comme une précondition nécessaire à l'interaction (au sens de perception/manipulation) possible entre deux entités, la **modélisation d'environnement en réalité mixte impose de décrire la distance des différentes entités** (objets ou outils) dans l'environnement physique et dans l'environnement numérique.

Une modélisation commune des relations de proximité dans les environnements mixtes permet une localisation des différentes entités numériques dans l'environnement physique. Cette notion élargit la notion d'« espaces de travail » (workspace) (Normand, 1992) (Klein et al., 2007), définie comme un « **lieu virtuel d'activités offrant les éléments nécessaires à la réalisation d'une ou plusieurs tâches** » (Normand, 1992), enrichie par une notion de proximité entre les différents espaces numériques de travail. Cette notion est utilisée dans le domaine des groupwares afin d'assurer un réalisme de leur échange physique.

Pour supporter ces notions, nous nous inspirons de Dey (Dey et al., 1999) qui discrimine **trois types d'entités : les utilisateurs, les lieux et les objets** pour décrire l'environnement.

Parallèlement et selon un autre aspect, Coutaz (Coutaz, 2003) parle de zone **interactive** comme d'un lieu physique comportant ces trois caractéristiques complémentaires :

- permettre des interactions homme-machine et homme-homme en son sein ;
- permettre l'accès à des ressources numériques, computationnelles et de télécommunication ;
- supporter un environnement numérique (ou un groupe de services proposés)

Dans le paradigme des **interactions proxémiques** (Vogel et al., 2004) (Ballendat et al., 2010) (Greenberg et al., 2011), les relations spatiales et la contextualisation de la position sont essentielles pour adapter l'élément visualisable et les actions réalisables, selon des interfaces et des styles d'interactions différents.

■ Les modèles spatiaux

La modélisation des relations spatiales est un axe de recherche étudié depuis plus de vingt ans. Le thème a attiré l'intérêt des différentes communautés scientifiques que ce soit en

informatique, en linguistique, en philosophie, en psychologie et dans les jeux (Lautenschutz et al., 2007) (Casati et al., 1999) (Ishikawa et al., 2006) (Benford et al., 1993).

La notion d'espace est définissable par une construction mathématique utilisée en algèbre. Ainsi, un environnement est défini par trois caractéristiques :

- le nombre de dimensions utilisées (0, 1, 2 ou 3... potentiellement plus) ;
- la continuité des dimensions, définie par son cardinal (élément unitaire) ;
- la relation entre les différents espaces.

Dans des espaces discrets, pour étudier la localisation d'entités, il est possible d'étudier les relations qui existent entre un ensemble, ses espaces connexes et les sous-ensembles dont il est composé. De nombreuses modélisations spatiales existent telles que présentées par Clementini (Clementini et al., 2010). trois types de modèles existent : topologiques, projectives, et métriques, qui sont respectivement basés sur les propriétés de l'espace topologique, projectif, et euclidien.

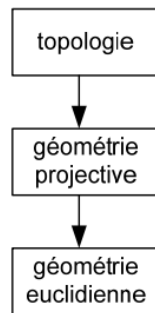


Figure 132 : Hiérarchies des géométries

Dans les espaces **topologiques discrets**, la plupart utilise trois types d'entités : les zones, les lignes et les points, ce qui permet de décrire discrètement un environnement. **Selon cette logique, des entités sont conscientes des entités de leurs entourages si elles sont dans la même zone.**

Dans les espaces **géométriques continus**, une autre approche est utilisée pour étudier la possibilité de perceptions/manipulations des objets. Benford et Fahlen (Benford et al., 1992) proposent un modèle utilisant la notion d'aura pour considérer spatialement les différentes entités de l'environnement dans le cas d'interaction sociale dans un environnement virtuel. Une aura peut-être décrite comme un sous-ensemble spatial dans lequel on perçoit/manipule les entités présentes (une aura par médium de perception/action). Pour permettre la réalisation d'aura, il est nécessaire d'utiliser un espace euclidien, de définir la position de chaque entité par des coordonnées puis la forme et les dimensions de l'aura (Figure 133).

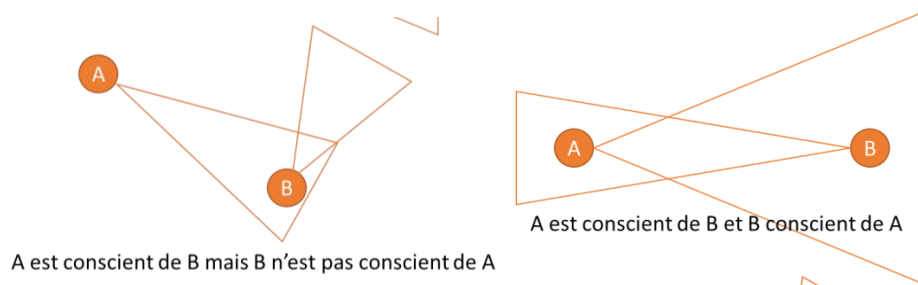


Figure 133 : Aura d'objets les uns par rapport aux autres (Benford et al., 1992)

Selon cette logique, une entité est consciente d'une autre si celle-ci est dans son aura de perception.

Ainsi, des relations peuvent être effectuées entre les différentes entités en utilisant un modèle topologique (discret) avec des relations de proximité entre zones ou un modèle géométrique de type euclidien (continu) avec des auras pour définir la relation de proximité et/ou de conscience. Nous nous sommes concentrés dans un premier temps sur la modélisation des espaces topologiques, donnant une vision plus macroscopique de la structure de l'environnement.

Pour modéliser les environnements topologiques, nous nous sommes inspirés du modèle des neuf intersections d'Egenhofer (Egenhofer, 1990) (Figure 134). Cependant, l'intégralité des possibilités de description des relations entre zones, points et courbes (184 possibilités !) est trop complexe. Nous avons donc proposé un modèle spatial minimaliste pour permettre la définition des relations entre les entités des environnements physique et numérique.

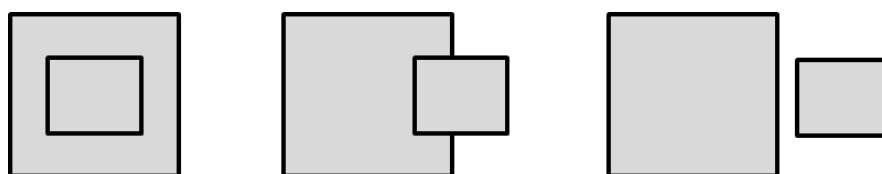


Figure 134 : Les trois possibilités de recouvrement de deux zones (Egenhofer, 1990)

Afin de ne pas devoir prendre en compte un modèle trop complexe, nous proposons dans un premier temps de se focaliser sur un modèle topologique. Ce type de modèle suffit dans de nombreux cas à décrire la relation de proximité. À ce modèle pourrait ensuite être ajouté un modèle euclidien pour préciser les relations de distance.

Dans cet environnement, nous avons choisi de décrire les entités présentes selon leurs rôles dans l'activité. De cette manière, nous utilisons la décomposition des entités entre objets, outils et utilisateurs pour différencier les entités actrices de celles qui permettent l'action et celles qui subissent l'action.

VI.1.1.3 Modélisation des interactions hommes-environnements

Nous nous sommes intéressés à la relation entre les utilisateurs d'un système et un environnement. Pour cela, des modèles d'interaction en environnement mixte sont proposés dans la littérature :

- ASUR (Dubois et al., 2002) ;
- le modèle d'interaction physique (Sato et al., 2000) ;
- le formalisme de Renevier (Renevier, 2004) ;
- le modèle d'interaction mixte (Coutrix, 2007) (Coutrix, 2009) ;
- IRVO (Chalon et al., 2005b).

Nous ne présentons dans cette thèse qu'IRVO (Chalon et al., 2005b), conçu dans le but de pallier certaines limites d'ASUR en modélisant l'ensemble des utilisateurs, dispositifs physiques, transducteurs (senseurs ou effecteurs) et interfaces utilisateurs associées. Rétrospectivement, nous pouvons justifier ce choix principalement par son utilisation de l'approche instrumentale et ses possibilités de rapprochement avec une approche architecturale.

Dans notre travail, nous avons fait évoluer ce modèle et proposé une extension : IRVO+ pour préciser les relations de proximité entre les différents objets.

VI.1.1.4 Synthèse

Afin d'intégrer ces caractéristiques, nous considérons trois aspects :

- **l'activité ;**
- **l'environnement mixte interactif de jeu ;**
- **les interactions hommes-environnements.**

Nous proposons l'utilisation de six modèles pour décrire l'activité, l'environnement et les interactions hommes-environnements mixtes interactifs.

L'activité collaborative est décrite par :

1. un **modèle d'orchestration** qui décrit le workflow des activités collaboratives selon le but visé, les acteurs qui y participent et l'environnement de réalisation de l'activité.

L'environnement est décrit par :

2. un **modèle abstrait d'environnement** qui propose une structure discrète de l'environnement mixte interactif.

À chaque phase du workflow des activités collaboratives (décrites par le modèle d'orchestration) :

3. un **modèle de tâches** identifie les différentes actions autorisées, le lien avec les outils et objets de l'environnement de jeu.
4. Un **modèle d'interaction concrète** qui identifie les relations entre les utilisateurs, les tâches de l'utilisateur et les entités de l'interface ;
5. Le **modèle de déploiement** qui explicite l'état initial des entités du jeu ;
6. Le **modèle des objectifs du JPCS** de la phase qui explicite l'état souhaité du système mixte interactif à la fin d'une phase de jeu.

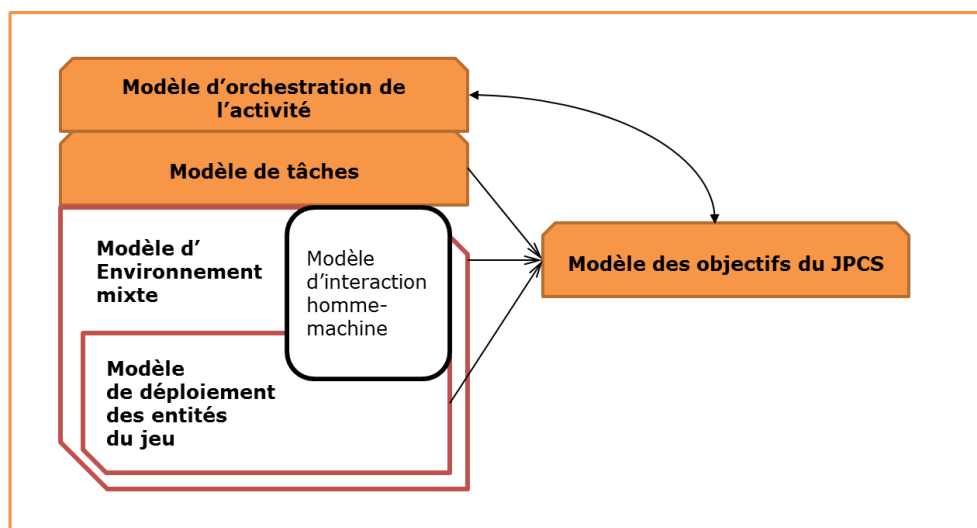


Figure 135 : Les six modèles proposés pour décrire un JPCS

De cette manière pour décrire plus finement un JPCS nous utilisons ces six modèles (Figure 135). Les modèles proposés concernent soit les activités, soit l'environnement mixte interactif de jeu soit l'interaction entre les apprenants et l'environnement. Afin de préciser la manière dont nous

avons choisi nos modèles et la manière de les corréler, nous rappelons différentes théories sur lesquelles se base notre réflexion et les modèles associés (proposés).

VI.1.2 Modèles d'orchestration de l'activité

VI.1.2.1 Modèle d'orchestration de l'activité ORCHESTRA

■ Principes

ORCHESTRA (David et al., 2006) est un formalisme qui permet de décrire l'orchestration de l'activité (c'est-à-dire les aspects collaboratifs). Pour cela, le formalisme décrit sous forme d'une partition (comme celle destinée au chef d'orchestre) différents aspects nécessaires à la description de l'activité. Les éléments principaux du modèle sont :

- Les acteurs ; un acteur est une instantiation d'un ou plusieurs rôles, un rôle est un élément de base du comportement humain dans le système, qui peut être qualifié comme acteur ou observateur ;
- Les activités ; une activité décrit un travail identifié qu'un rôle peut effectuer ;
- Les processus ; un processus est modélisé par un graphe états-transitions ;
- Les artefacts : l'artefact peut être un outil ou un objet. L'outil est un instrument utilisé dans la tâche ; l'objet peut intervenir comme entrant dans la tâche, supportant la tâche ou sortant de la tâche (comme résultat) ;
- Les contextes ; un contexte est une collection de trois aspects : la ou les plateformes, les lieux (logique, physique ou géographique) et les préférences des utilisateurs.

■ Description du formalisme graphique d'ORCHESTRA

ORCHESTRA adapte la notation des partitions musicales données à un chef d'orchestre. Pour cela, cinq lignes d'une portée expriment les cinq aspects principaux (Figure 136), qui sont : le rôle de l'utilisateur, l'activité, l'état ou la transition de processus où l'activité se passe, les artefacts impliqués dans l'activité et le contexte.

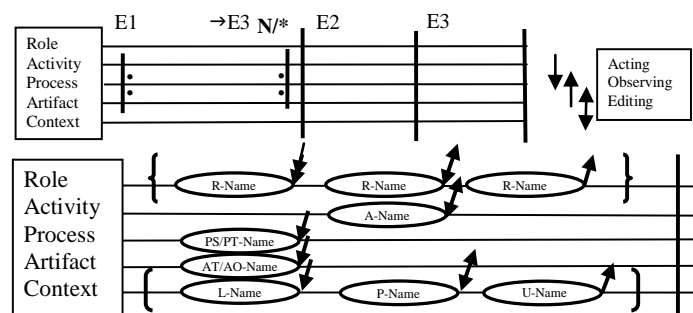


Figure 136 : Principaux concepts d'ORCHESTRA

Ces aspects sont exprimés sur chacune des lignes en y situant une ou plusieurs « notes » contenant un identifiant (nom). Chaque note peut recevoir une « hampe » qui indique sa participation (agissant, observant ou éditant). Pour distinguer l'acteur principal de l'acteur secondaire, une double flèche et une simple flèche sont utilisées.

Une « barre de mesure » indique la séparation entre les épisodes de coopération. Pour exprimer la répétition d'un épisode, nous utilisons les symboles de « début de reprise » et de « fin de reprise » complétés par quatre options :

- un nombre explicite des répétitions (n) ;
- un nombre indéterminé des itérations (+/*) ;
- une fin contextuelle (état logique) ;
- une fin temporelle de l'itération (délai relatif ou absolu).

Chaque épisode de coopération exprime un état ou une transition du processus de coopération. Pour chaque épisode de coopération, l'ordre temporel implicite du déroulement est, comme en notation musicale, séquentiel de gauche à droite. Un autre ordre doit être exprimé explicitement par un saut de l'épisode courant à un autre nommé, ou par un « appel de procédure » saut à un épisode appelé puis retour vers l'épisode courant.

De cette façon un cheminement de type graphe (workflow) est exprimable. Par différents types de parenthèses, les relations explicites sont exprimées entre les « notes » participantes. Ces parenthèses sont employées pour exprimer différentes situations :

- (...) solutions alternatives ;
- {...} participation obligatoire ;
- [...] participation facultative.

Différents signes placés au-dessus de la partition expriment des propriétés de collaboration comme des collaborations synchrones et asynchrones, des modes de collaboration :

- @ : asynchrone avec temps de réponse infini ;
- @@ : asynchrone avec temps de réponse limité correspondant à l'astreinte ;
- & : coopération - collaboration synchrone en réunion ;
- && : collaboration synchrone étroite.

En collaboration synchrone deux types de participations différentes doivent être distinguées :

- collaboration instantanée et à court terme, appelée également implicite et exprimée par ●, par exemple un vote ;
- collaboration longue, appelée également explicite, exprimée par ■, comme une activité de dessin.

La coordination sociale et la coordination informatique (☺, ☹) sont aussi exprimées, c'est-à-dire faites par des acteurs ou par interaction avec le système (demande d'agir, réception d'autorisation de droit d'accès exclusif à l'espace partagé et fin d'action).

Une autre notion importante dans le TCAO est la conscience de l'activité d'un autre acteur (awareness). Son objectif est de permettre aux différents acteurs de savoir (ou pas) ce qui a été fait par d'autres acteurs. Il est important de décider statiquement (par le concepteur) ou dynamiquement par l'acteur lui-même la portée de la propagation des informations à d'autres acteurs. Lorsque la conscience est définie par le concepteur, trois possibilités sont décrites :

- aucune conscience ;
- une conscience de groupe partielle (pour les acteurs choisis) ;
- une conscience de groupe globale (pour tous les acteurs).

■ Exemple d'utilisation

Prenons deux exemples simples pour illustrer le formalisme et les concepts manipulés.

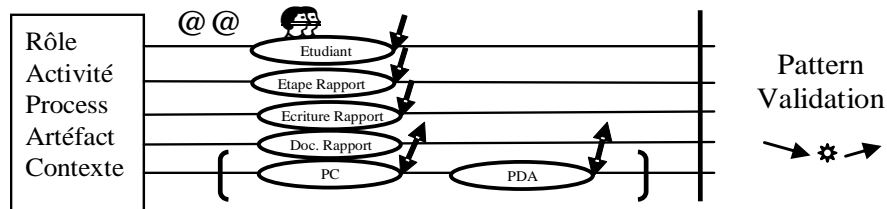


Figure 137 : Activité d'écriture d'un rapport

Nous donnons sur la Figure 137, une description ORCHESTRA de l'activité de rédaction d'un rapport (pattern de validation). Durant cette activité, l'écriture du rapport peut se réaliser avant l'envoi de celui-ci au professeur (généralement quelques minutes avant la date limite).

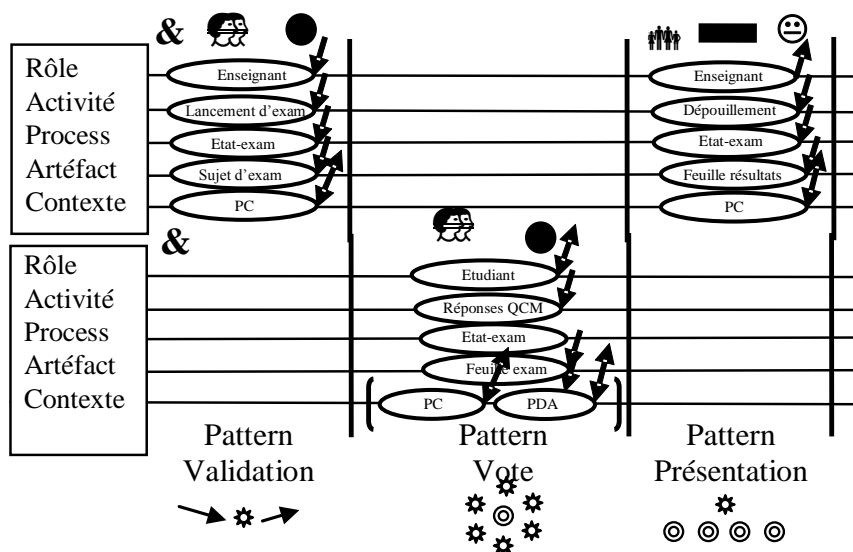


Figure 138 : Modélisation d'un examen

Une activité d'examen (Figure 138) peut être composée de trois étapes : le début de l'examen s'initie par la remise des documents de l'enseignant aux élèves, qui peut éventuellement faire des remarques et donner une méthode de travail. Ensuite, les étudiants répondent aux QCM sur des dispositifs qu'ils possèdent jusqu'à ce que le temps imparti soit dépassé. L'enseignant dépouille ensuite les résultats. Le lancement de l'examen correspond à une validation (le professeur décide que la prochaine étape peut commencer), l'étape principale de l'examen est de type vote (chacun réalise son examen à sa table, et le professeur a la connaissance de tout) et enfin le dépouillement est une activité de type présentation (le professeur annonce à ses élèves les réponses).

VI.1.2.2 Notre adaptation – ORCHESTRA-JPCS

■ Adaptation effectuée

Une nouvelle version du modèle ORCHESTRA est proposée : ORCHESTRA-JPCS. Pour cela, nous avons simplifié et adapté ORCHESTRA pour mieux correspondre aux besoins des JPCS.

Dans les modifications effectuées, nous avons :

- précisé la modélisation de l'activité afin d'être plus proche de celle de la « théorie de l'activité » ;
- limité les artefacts utilisés aux objets physiques (interfaces tangibles) ;

- proposé d'autres configurations sociales.
- **Décomposition de l'activité en action et opération**

Dans ORCHESTRA-JPCS, nous avons emprunté une modélisation de type « théorie de l'activité » (Léontiev, 1984) avec une distinction réalisée entre les actions et les opérations. Ainsi, les activités collaboratives faites en direction d'un but sont modélisées avec ORCHESTRA. Pour chaque rôle, des opérations sont disponibles afin de remplir une précondition ou réaliser le but demandé (les opérations sont modélisées avec le formalisme CTT).

- **Contexte d'utilisation**

La notion de zone physique est importante pour permettre la distribution physique des lieux de travail (d'action). Cette distribution pouvant être dynamique, il est important de pouvoir décider dynamiquement la localisation et le partage éventuel des espaces de travail. La distinction entre les zones logiques et les zones physiques permet de rendre le système collaboratif ajustable. En effet, la spécification raisonnant avec les zones logiques, le fonctionnement reste valable quel que soit le choix dynamique fait pendant l'exécution.

- **Limitation de la notion d'artefact**

La manipulation de dispositifs interactifs par de nombreux utilisateurs différents peut poser problème dans les cas où les utilisateurs utilisent le même lieu pour agir sur le système. Différentes techniques existent comme l'identification par la reconnaissance du visage ou d'un objet porté. Lorsque nous parlons d'artefact ici, nous ne parlons plus de l'objet du domaine de la tâche (l'objet sur lequel se porte l'action), mais bien uniquement des objets physiques qui peuvent faire reconnaître l'utilisateur. Cette information présente dans ORCHESTRA a un rôle double avec les zones physiques présentes dans ORCHESTRA-JPCS. Pour plus de précision sur les zones physiques, se reporter à la section §VI.1.4.

- **Synthèse**

Dans ORCHESTRA-JPCS (Figure 139), chaque utilisateur réalise des actions décrites par :

- un **rôle** caractérisant les utilisateurs ;
- un **but** à atteindre ou une précondition à remplir ;
- une ou des **opérations** (tâches) spécifiques réalisables pour atteindre le but ;
- les **artefacts** impliqués (dispositif physique et/ou objet physique et/ou outil physique) ;
- le **contexte** (le lieu – zone physique) de **réalisation** de l'**activité**.

■ Description du formalisme graphique d'ORCHESTRA-JPCS

Le formalisme graphique que l'on propose utilise une partition similaire à celle des chefs d'orchestre. Les caractéristiques de l'activité d'un rôle sont exprimées sur chacune des lignes, de la partition par des « notes » identifiables. Chaque note peut recevoir des décorations sous forme de « hampe » qui indique les interactions du rôle avec son contexte d'utilisation (agissant, observant ou éditant), avec une distinction entre l'acteur principal (double flèche) de l'acteur secondaire (flèche simple).

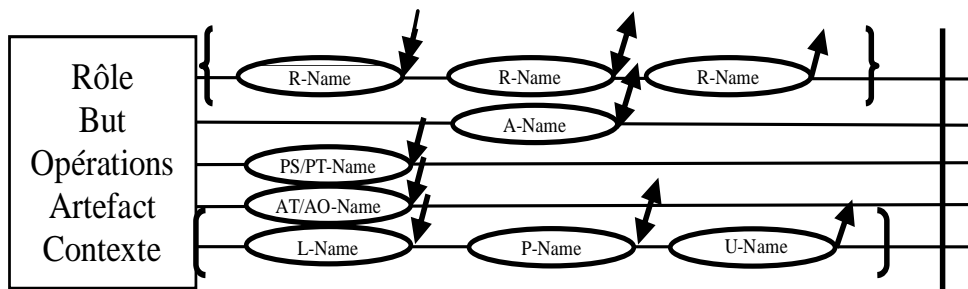


Figure 139 : Principaux concepts d'ORCHESTRA

Chaque épisode de coopération exprime un état ou une transition du processus de coopération. Pour chaque épisode de coopération, l'ordre temporel implicite du déroulement est, comme en notation musicale, séquentiel de gauche à droite.

■ Exemple d'utilisation

Nous nous appuyons sur l'exemple de la réalisation d'un outil utilisable en séance de créativité collective (brainstorming) avec deux types de rôles : l'animateur et les participants. Les différentes étapes de l'activité sont :

- une étape d'émergence d'idée, réalisée personnellement
- une étape de confrontation d'idées où chacun va défendre ses propres idées
- une étape de sélection d'idée où chacun va donner ses opinions sur l'ensemble des idées

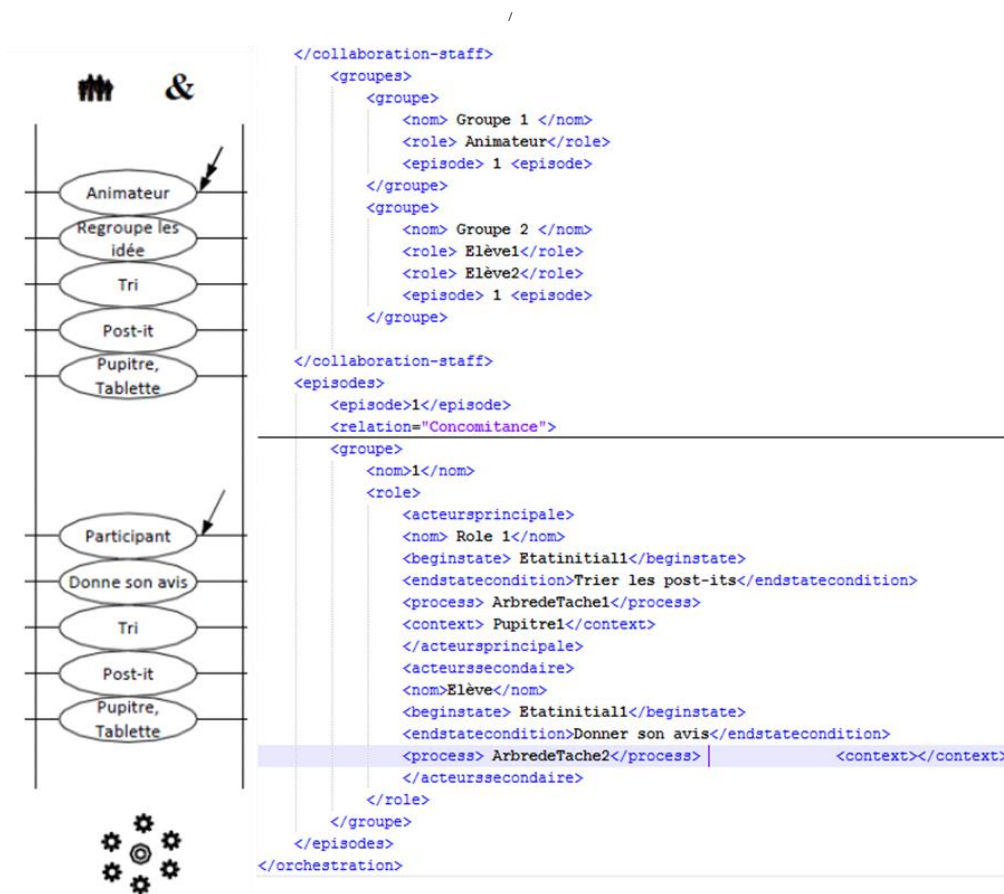


Figure 140 : Description d'une activité de tri de Post-it

Dans la première phase, les participants agissent sur des Post-it grâce à l'utilisation d'une table interactive et de tablettes pour chercher des idées, alors que l'animateur observe la création des Post-it (avec une conscience partielle des activités) (pattern de coopération).

Nous présentons dans la Figure 140 un exemple de modélisation extraite de l'activité de Brainstorming. Dans cette phase, l'animateur regroupe les idées par groupes, alors que les participants voient l'ensemble des Post-it (conscience totale) et donnent leur avis.

VI.1.3 Modèle de tâches

Dans notre vision, les tâches sont la description des différentes opérations pouvant être réalisées permettant l'accomplissement de préconditions permettant l'atteinte d'un but (Léontiev, 1984).

Nous utilisons le formalisme CTT (ConcurTaskTrees) (Paternò et al., 1997) afin de modéliser les opérations. Dans son usage prévu, CTT décrit l'ensemble de l'activité, cependant, cette séparation permet la séparation entre les aspects purement interactifs (la réalisation de tâches concrètes) de ceux en rapport avec le noyau fonctionnel (avec des préconditions atteintes et/ou un but atteint). Ainsi, nous « sous-utilisons » CTT en ne l'utilisant que pour la description d'opérations.

Concernant le fonctionnement de CTT, le modèle décrit les tâches par décompositions arborescentes structurelles et temporelles.

VI.1.3.1 Description du formalisme graphique

La modélisation des tâches se fait en exprimant : les tâches, la relation temporelle entre les tâches et les décorations des tâches.

Quatre types de tâches sont pris en compte :

- les tâches abstraites qui sont un regroupement de plusieurs tâches en une tâche abstraite de plus haut niveau ;
- Les tâches « interactives » qui correspondent à des réalisations concrètes de techniques d'interaction ;
- Les tâches « utilisateurs » qui correspondent à la réalisation de tâches non informatisées que ce soit des tâches cognitives, ou des tâches portées vers des objets physiques ou vers la communication ;
- Les tâches « machines » qui correspondent à l'utilisation d'algorithmes pour réaliser des computations et obtenir des résultats.

Les relations temporelles des tâches sont exprimées par des opérateurs logiques et temporels. Les opérateurs LOTOS (Paternò et al., 1992) donnent les relations temporelles entre tâches de même niveau hiérarchique. Neuf relations entre deux tâches sont utilisées dont l'activation (puis), la désactivation, le choix (ou) et la concurrence.

Les décorations permettent de définir différentes possibilités de réalisation d'une tâche, par exemple l'optionnalité ou le nombre d'itérations requis.

VI.1.3.2 Exemple d'utilisation

Nous présentons un exemple de modèle de tâche utilisé dans le cadre de l'activité de Brainstorming (Figure 141). Pour rechercher une nouvelle idée, l'utilisateur doit d'abord

l'imaginer, puis la proposer au système. Proposer l'idée veut dire créer un Post-it, puis écrire l'idée dessus, puis enfin l'envoyer dans l'espace commun.

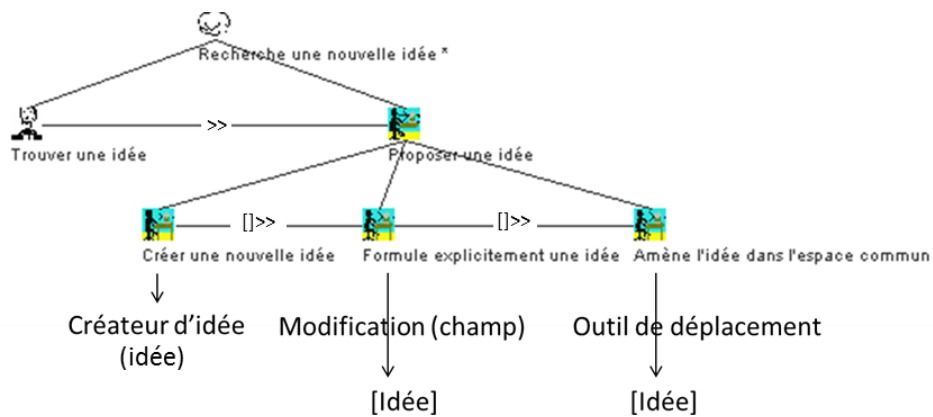


Figure 141 : Modélisation d'une tâche de recherche d'idée en CTT (formalisme graphique)

Sur les feuilles de l'arbre, les objets du domaine de la tâche sont présents. À noter que dans certains cas, il est possible de regrouper ces diagrammes d'environnement au niveau d'une tâche abstraite de plus haut niveau lorsque les tâches élémentaires utilisent les mêmes objets et outils.

Le modèle CTT est accompagné par un outil d'édition CTTE (Mori et al., 2002) permettant la génération de fichier XML. Ce format utilise une structure sous forme de tâches et sous-tâches, avec prise en compte :

- des noms des tâches ;
- de leur type ;
- des décorations associées (optionalités, itérations) ;
- des relations temporelles entre les différentes sous-tâches ;
- des artefacts utilisés, que ce soit les outils et les types d'objets concernés.

Nous avons simplifié le formalisme textuel proposé initialement par CTT pour ne présenter que les aspects qui nous semblent nécessaires.

```

<Task Identifiant="Recherche une nouvelle idée" Category="Abstraction Task">
  <SubTask>
    <Task Identifiant="Trouver une idée" Category="User Task">
      <Parent name="Recherche une nouvelle idée"/>
      <SiblingRight name="Proposer une idée"/> </Task>
    <Task Identifiant="Proposer une idée" Category="Interaction Task">
      <SubTask>
        <Task Identifiant="Créer une nouvelle idée" Category="Interaction Task">
          <toolType type="creator">idée</toolType></Task>
        <Task Identifiant="Formule explicitement une idée" Category="Interaction Task">
          <toolType type="FieldModifier">
            <objectType>idée</objectType>
          </toolType></Task>
        <Task Identifiant="Amène l'idée dans l'espace commun" Category="Interaction Task">
          <toolType type="moover">
            <objectType>idée</objectType>
            <zoneOutput>Zone commune</zoneOutput>
          </toolType> </Task>
      </SubTask>
    </SubTask>
  </Task>

```

Figure 142 : Modélisation d'une tâche de recherche d'idée en CTT (XML)

Dans l'exemple de description XML d'une activité présenté en Figure 142, nous exprimons exactement la même tâche que celle décrite précédemment.

VI.1.4 Modèle de déploiement de l'environnement mixte interactif (IME-DEMO)

Nous proposons une modélisation de l'environnement interactif mixte de réalisation de notre activité. **Lorsque nous parlons de l'environnement interactif mixte, nous parlons des dispositifs signifiants ou utiles présents sur le lieu de l'activité, des utilisateurs présents, des interfaces homme-machine présentes et de la simulation sous-jacente à la réalisation de l'activité. L'acronyme que nous associons est IME-DEMO pour modèle d'environnement mixte interactif (Interactif Mixed Environment - Deployment Model).**

Pour cela, nous modélisons l'environnement interactif mixte à partir de zones et d'entités qui les composent. Les **entités** (utilisateur, objet ou outil) sont considérées comme des points intégrés dans des **zones**.

Le modèle géométrique que nous utilisons prend uniquement en compte l'inclusion ou l'exclusion de zone dans des zones et l'inclusion et l'exclusion d'entités dans les zones.

VI.1.4.1 Différents environnements modélisés dans IME-DeMo

À partir de trois notions que sont **les espaces de travail, les espaces interactifs et les interfaces proxémiques**, nous considérons :

- une disposition des différents objets physiques et des utilisateurs présents ;
- une disposition des différentes interfaces homme-machine dans le monde physique ;
- une disposition des différentes entités numériques présentes dans les interfaces hommes-machines.

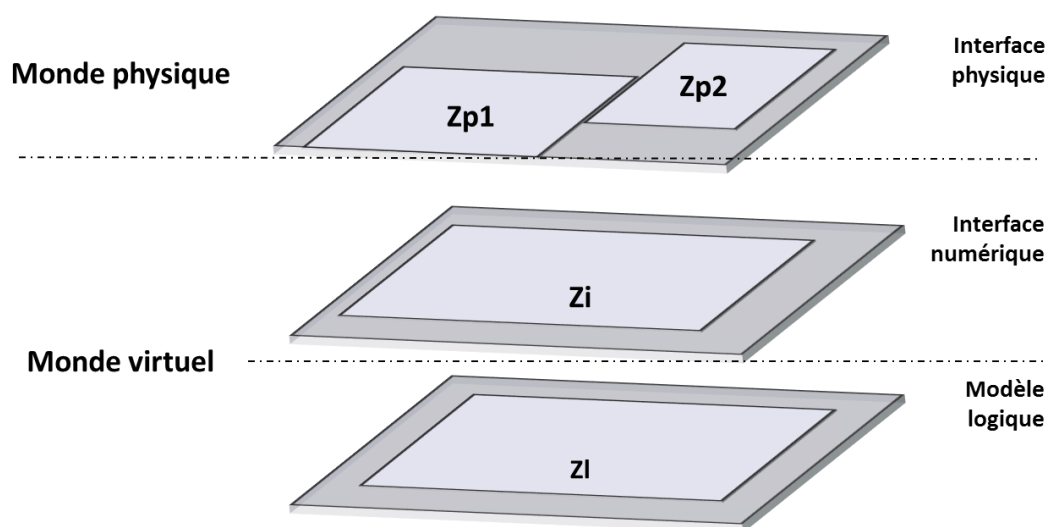


Figure 143 : Différents niveaux et entités du modèle IME-DEMO

Le modèle d'environnement que nous proposons prend donc une structure (issue du modèle IRVO) en trois couches (Figure 143) :

- Le monde physique contenant les interfaces homme-machines physiques (artefacts physiques manipulables et perceptibles par les utilisateurs) ;
- Le monde virtuel contenant les interfaces homme-machines numériques (artefacts numériques manipulables et perceptibles par les utilisateurs) ;

- Un modèle logique de l'application qui représente les composants déterminants de l'application (noyau fonctionnel).

Le modèle interne maintient la cohérence entre les différents objets physiques et les objets numériques utilisés. Le modèle interne assure également la rémanence des objets virtuels entre deux sessions de travail en enregistrant l'état courant sur un support permanent.

Afin d'ajouter la notion de relation spatiale à chacun de ces environnements, nous distinguons trois différents types (Figure 144) de lieux que nous nommons :

- une zone physique ;
- une zone d'interface ;
- une zone logique

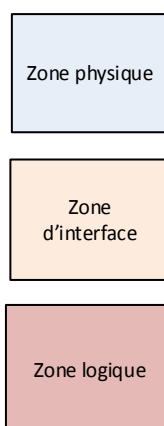


Figure 144 : Les trois types de zones modélisés

Nous discriminons deux types de zones **physiques** :

- Une zone **physique de perception** de l'utilisateur représente le lieu dans lequel l'utilisateur perçoit les informations du système mixte interactif ;
- une **zone physique d'action** de l'utilisateur représente le lieu dans lequel l'utilisateur peut agir/manipuler les interfaces physiques/numériques.

Dans le cas d'un support de présentation (projeté sur un écran de projection) contrôlé par des gestes captés avec un interlocuteur qui présente et un qui écoute (et qui voit la présentation).

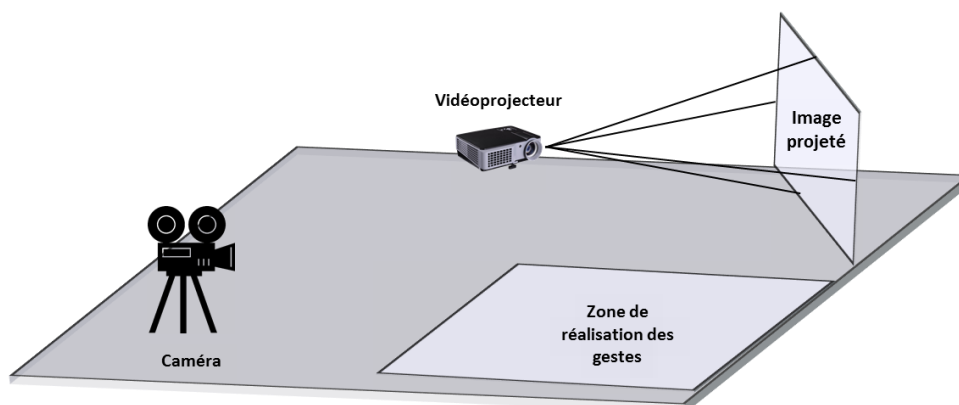


Figure 145 : Dispositifs interactifs et zones physiques d'interactions

Une table tactile est selon cette même logique de modélisation à la fois zone de perception et d'action.

Nous pouvons modéliser l'environnement physique (Figure 145) ainsi :

- L'écran de projection (plus exactement la zone où l'image est projetée) est la zone de perception de l'utilisateur ;
- Le champ de vision de la caméra est la zone d'action de l'utilisateur.

Les **zones d'interface** permettent une sélection des entités de l'environnement logique et de l'environnement physique. Elles sont porteuses de la présentation des entités présentes et permettent la prise en compte du contexte et des interactions des utilisateurs. Elles sont liées aux zones physiques (comme nous l'avons précédemment indiqué) et aux zones logiques, par des relations bidirectionnelles et sont de deux types (Figure 146) :

- une **zone d'interface de perception** permet de sélectionner une vision partielle ou totale de l'environnement logique afin de le transmettre dans l'environnement physique.
- une **zone d'interface de traitement** permet l'acquisition des informations issues de l'environnement physique (et leurs interprétations par des algorithmes).

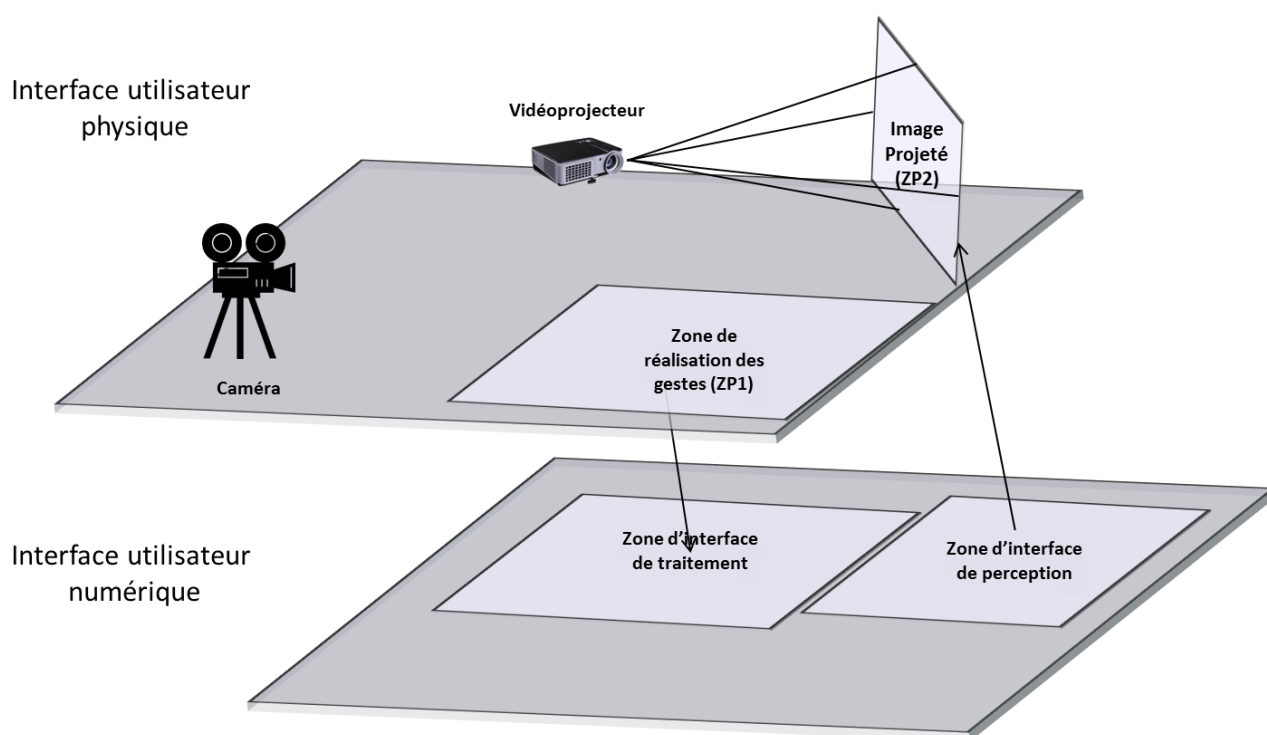


Figure 146 : Relation entre interface numérique physique et interface utilisateur numérique

Les **zones logiques** supportent les entités logiques supportant les comportements de l'application. Admettons que dans notre exemple, une présentation et un flux vidéo soient présents à l'écran, mais que les gestes permettent uniquement de contrôler la présentation (Figure 147).

En intégrant une modélisation spatiale des entités logiques, le modèle comportemental peut lui aussi intégrer les notions de proximité et d'inclusion (en limitant les flux d'informations entre les différents éléments qui le composent) afin d'en adapter son comportement.

Nous utilisons trois types de zones : les zones logiques, les zones d'interfaces et les zones physiques.

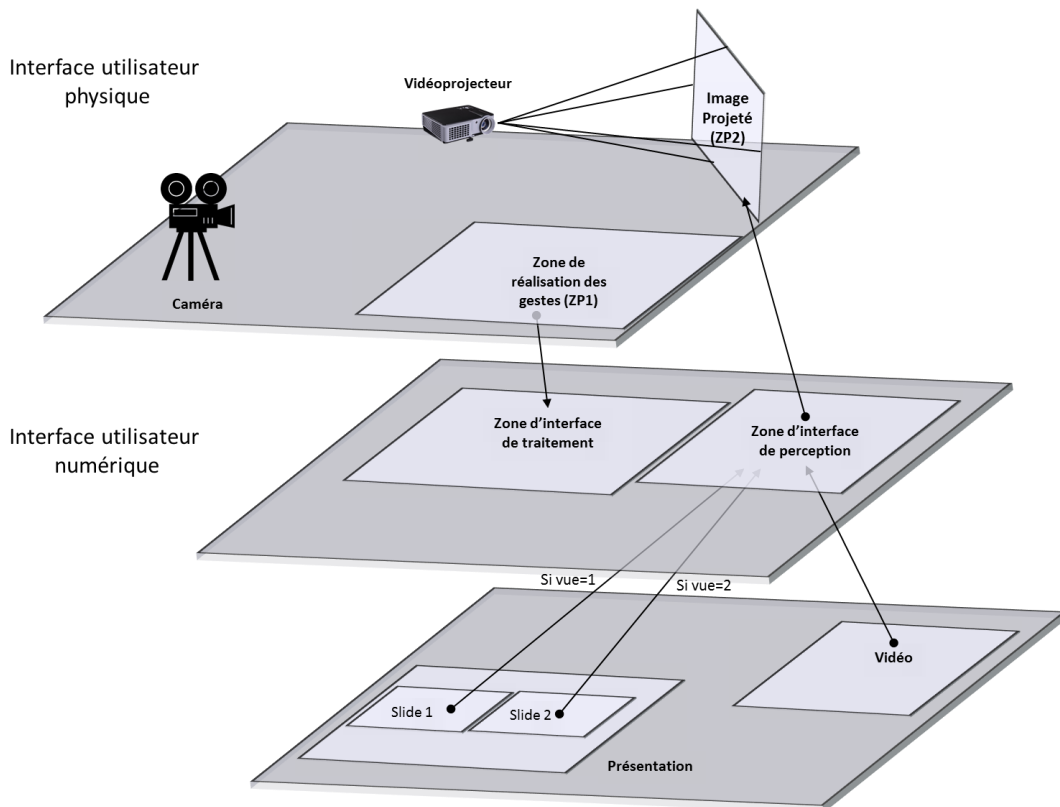


Figure 147 : Relation de l'interface avec le noyau fonctionnel

VI.1.4.2 Description du formalisme graphique

Le rapport de proximité est une notion spatiale qui nous indique « qui/quoi est à côté de qui/quoi ? » et « qui peut s'échanger quoi ? ». Pour cela, nous indiquons les associations entre les zones de chaque environnement. Ainsi, nous proposons plusieurs types de relation possibles entre zones :

- des relations intra-monde, avec décomposition de zone et sous-zones pour modéliser les possibilités d'échange d'objets ;
- des relations inter-mondes qui permettent les relations entre noyau fonctionnel, IHM et monde physique.

Ainsi, la notion de zone, centrale dans notre formalisme, **généralise et affine la notion de localisation et d'association** initialement utilisée dans IRVO comme **frontière physique** et transducteurs pour l'ensemble des différents mondes modélisés.

■ Relations intra-mondes

Les relations d'échange sont divisibles en deux types de relation :

- unilatérale : les objets ne peuvent se déplacer que de la zone A à la zone B (flèche unidirectionnelle de A vers B) ;
- bilatérale : les objets peuvent se déplacer dans les deux sens (flèche bidirectionnelle)

La relation d'inclusion permet d'exprimer les relations entre une zone mère et sa zone fille. Les possibilités d'échange sont du même type que les autres (uni ou bidirectionnel), mais il existe aussi une relation de mobilité de la zone fille.

Nous reprenons les décorations utilisées dans IRVO pour exprimer les relations de mobilité :

- une double flèche (\leftrightarrow) représente la possibilité de déplacement de la zone à tout moment ;
- une croix (\times) est utilisée pour symboliser l'impossibilité de déplacement de la zone durant une tâche ;
- une croix entourée (\otimes) est utilisée pour symboliser l'impossibilité de déplacement de la zone pendant l'ensemble de l'activité.

Lorsqu'une zone a un déplacement relatif à une autre entité, la relation entre ces deux entités se modélise sur l'entité ayant le mouvement relatif par l'association entre le type de mobilité (\leftrightarrow , \times , \otimes) et la dénomination de l'entité relative. Par exemple, des lunettes de réalité augmentée portées par un utilisateur (U) auront une décoration du type $U\leftrightarrow$.

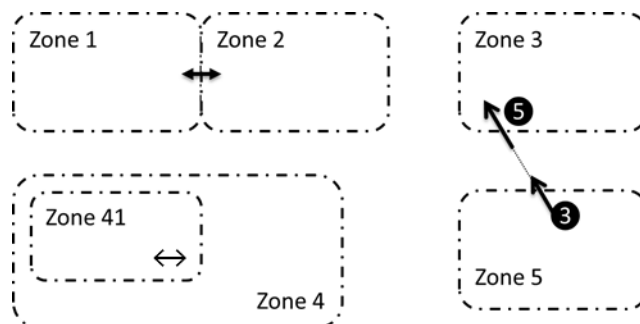


Figure 148 : Les différentes relations entre les zones

En synthèse, nous proposons en Figure 148, différentes relations possibles entre zones : les zones 1 et 2 ont une relation bilatérale entre elles, les objets présents en zone 5 sont déplaçables en zone 3 et la zone 41, mobile à tout moment, est incluse en zone 4.

■ Relations inter-mondes

Comme nous l'avons exprimé plus haut, nous modélisons trois types de zones : les zones physiques, les zones d'interface et les zones logiques. Il existe entre ces types de zones des relations possibles. La zone logique permet la prise en compte de l'environnement physique et la perception d'une zone d'interface par les utilisateurs. Les zones d'interfaces sont le support de présentation et de manipulation d'entités logiques.

Ainsi, comme illustré en Figure 149, il existe une relation unilatérale entre une zone physique de perception et la zone d'interface de traitement associé. La zone d'interface a quant à elle une relation avec la zone logique. Une fois les modifications des entités logiques effectuées, la zone d'interface effectrice est notifiée, et la zone physique de perception permet aux utilisateurs d'accéder à ces informations.

Afin de permettre un changement de contexte, les relations peuvent être conditionnelles. Ainsi, il est possible de changer les zones affichées sur un dispositif pour les déplacer (contextualiser) sur un autre dispositif physique proche, se trouvant dans l'environnement interactif mixte...

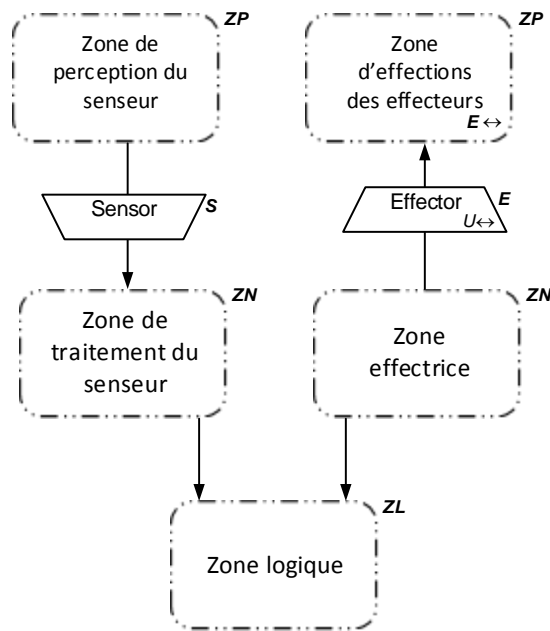


Figure 149 : Les différents transducteurs et zones associées

VI.1.4.3 Description du formalisme textuel

Ce modèle est utilisable dans la conception de tous types d'environnements interactifs mixtes et permet :

- La prise en compte de la localisation des entités physiques et de leurs proximités ;
- La prise en compte de la mobilité des acteurs et/ou des dispositifs d'interaction afin d'adapter la présentation des interfaces proposées ;
- L'assemblage de différents dispositifs physiques (de pupitre par exemple).

Du fait que ces besoins sont indépendants dans la conception de logiciel interactif (due à la séparation entre la construction du noyau fonctionnel et des interfaces), nous séparons ces considérations. Nous utilisons deux fichiers de descriptions pour modéliser l'environnement simulé du jeu et son intégration dans le monde physique :

- un premier qui permet de décrire la structure abstraite du noyau fonctionnel, avec les relations entre les différentes entités présentes (IME-DEMO-L);
- un deuxième qui permet de décrire la présence des différentes entités interactives sur les interfaces et leur contextualisation dans le monde physique (IME-DEMO-I).

VI.1.4.4 Exemple d'utilisation

Pour le dispositif d'apprentissage collectif de la méthode du Brainstorming, les utilisateurs créent des Post-it dans leur zone personnelle et les publient ensuite dans la zone commune. Une modélisation possible de l'environnement logique (IME-DEMO-L) est d'utiliser deux zones personnelles et une zone commune (pour deux utilisateurs) (Figure 149). Toutes les zones personnelles sont reliées à la zone commune selon une relation unidirectionnelle (s'il n'est plus possible de reprendre les Post-it une fois qu'ils ont été envoyés dans l'espace commun).

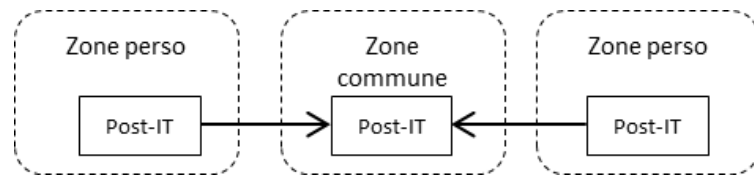


Figure 150 : Modèle de l'environnement de Brainstorming

Cet exemple illustre les considérations portées sur les types d'objets et outils pouvant être présents dans une zone (type d'objet et nombre d'objets). Ces limitations permettent d'assurer un contrôle permanent sur les objets présents et limitent les créations et les déplacements d'objets. En effet, dans cet exemple, les Post-it amenés en zone commune ne peuvent plus être ramenés dans la zone personnelle et donc, nous le représentons par une flèche unilatérale.

```

<!-- Zones description -->
<zones>
  <zone>
    <name>ZonePersonnel1</name>
    <description>Create postit</description>
    <maximumTotalCapacity>5</maximumTotalCapacity>
    <gameObjectTypeRestrictions>
      <gameObjectTypeRestriction>1</gameObjectTypeRestriction> <!-- Post-IT -->
    </gameObjectTypeRestrictions>
    <toolClassRestrictions>
      <toolClassRestriction>1</toolClassRestriction> <!-- Post-IT Editor-->
    </toolClassRestrictions>
  </zone>
  <zone>
    <name>ZonePersonnel2</name>
    <description>Create postit</description>
    <maximumTotalCapacity>5</maximumTotalCapacity>
    <gameObjectTypeRestrictions>
      <gameObjectTypeRestriction>1</gameObjectTypeRestriction> <!-- Post-IT -->
    </gameObjectTypeRestrictions>
    <toolClassRestrictions>
      <toolClassRestriction>1</toolClassRestriction> <!-- Post-IT Editor-->
    </toolClassRestrictions>
  </zone>
  <zone>
    <name>ZoneCommune</name>
    <description>Raw material shaper input area</description>
    <maximumTotalCapacity>50</maximumTotalCapacity>
    <gameObjectTypeRestrictions>
      <gameObjectTypeRestriction>1</gameObjectTypeRestriction> <!-- Post-IT -->
    </gameObjectTypeRestrictions>
    <toolClassRestrictions>
      <toolClassRestriction>2</toolClassRestriction> <!-- grouping tool-->
    </toolClassRestrictions>
  </zone>
</zones>

```

Figure 151 : Description des différentes zones présentes

Le modèle IME-DEMO-I présenté en Figure 152 sous forme graphique et en Figure 151 textuellement illustre la manière dont il est intégré dans l'environnement physique. Une zone physique (une table interactive) affiche une zone d'interface qui associe deux zones logiques (une zone personnelle et une zone commune). Ce type de description permet la réalisation d'activités nécessitant des zones partagées ou des espaces de travail personnels ainsi que la disposition des interfaces abstraites sur les différents lieux d'interactions.

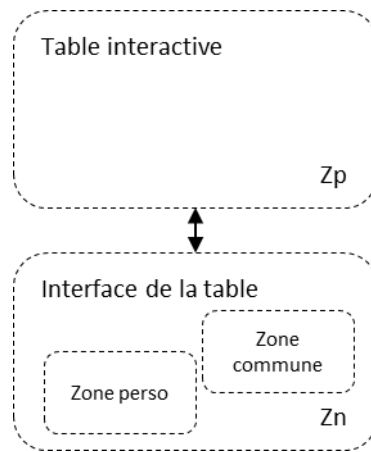


Figure 152 : Relation entre zones physiques, zones d'interfaces et zone logiques

La double flèche correspond à la présence d'un senseur et d'un effecteur (ici un vidéoprojecteur et une caméra) permettant d'afficher et capter des informations dans la zone physique (table interactive). La zone d'interface permet d'accéder aux regroupements de différentes entités de l'environnement logique (qui n'ont pas forcément de lien de proximité entre elles).

```
<physicalZone>
  <name>Shaper</name>
  <numericalZone physicalContext="default">ZNshape</numericalZone>
</physicalZone>
```

Figure 153 : Exemple de description des corrélations entre zones physique et zone d'interface

Deux fichiers de descriptions sont générés à partir de ce fichier : un premier faisant la relation entre les zones physiques et les zones d'interface, ainsi qu'un fichier faisant la relation entre les zones d'interface et les zones logiques. Dans la Figure 153, nous observons par exemple la corrélation entre une zone physique, correspondant à une table interactive et l'affichage de la zone d'interface « ZNshape ». Il est ainsi possible de spécifier plusieurs zones d'interfaces à afficher et proposer des conditions à respecter pour les afficher (par exemple des conditions liées au contexte d'utilisation).

VI.1.5 Modèle de déploiement des objets – O-DeMo

Après avoir décrit la structure et les possibilités d'existence des différents objets dans les zones grâce au modèle de déploiement de l'environnement et les activités des joueurs, un autre formalisme, le modèle de déploiement des objets – O-DeMo (Object Deployment Model) permet de décrire comment les différentes entités (joueurs, outils et objets) sont disposées dans l'environnement mixte interactif. Nous passons donc de la vision abstraite et qualitative à la vision concrète et quantitative. Il s'agit d'exprimer notamment les conditions initiales du jeu et/ou de chacune de ses phases.

Le modèle O-DeMo permet le déploiement des différents objets à instancier en début de chaque phase/étape du jeu et permet ainsi de créer un espace des instances du jeu, qui constitue le support du jeu à tout moment.

L'espace des instances permet de collecter le déroulement et de valider les conditions pour finir les phases du jeu ou le jeu tout entier. Cette description permet de faire le lien entre les différents buts du jeu et l'état du jeu en cours.

Le modèle de déploiement des objets O-DeMo positionne les différentes entités du jeu :

- l'instanciation des personnages du jeu avec l'affectation des rôles à jouer ;
- l'instanciation des outils du jeu ;
- l'instanciation des objets.

La Figure 154 présente un exemple de fichier de configuration tel qu'il a été utilisé afin de déployer et donc instancier les différentes entités du jeu.

```

<worldState>
  <zones>
    <zone>
      <name>ZONE1</name>
      <gameObjects>
        <gameObject>
          <id>300</id>
          <type>2</type>
          <ghost>true</ghost>
          <properties>
            <property>
              <name>shapeType</name>
              <type>Number</type>
              <value>3</value>
            </property>
          </properties>
        </gameObject>
        <gameObject>
          <id>301</id>
          <type>2</type>
          <ghost>true</ghost>
          <properties>
            <property>
              <name>shapeType</name>
              <type>Number</type>
              <value>3</value>
            </property>
          </properties>
        </gameObject>
        <gameObject>
        </gameObject>
        <gameObject>
        </gameObject>
        <gameObject>
        </gameObject>

```

Figure 154 : Exemple de description d'état à un début de phase

Six objets sont présents dans la zone « ZONE1 ». Deux de ceux-ci sont détaillés, et les autres repliés (représentés en bas par les quatre balises gameObject). Ces deux objets sont de type « 2 » (c'est-à-dire des corps de robots) et possèdent une propriété « ShapeType » avec pour valeur « 2 » (la forme du corps du robot est carrée). Grâce à ce type de description, le modèle permet de générer et de déployer des objets sous forme d'instances dans les différentes zones issues du modèle abstrait d'environnement (MOMI).

VI.1.6 Modèle des objectifs du JPCS

Une des composantes principales d'un jeu décrit ses objectifs. Par exemple le fait que les joueurs aient pour but de gagner le jeu qui peut se concrétiser par l'utilisation de gains de points avant la fin de ce jeu. Pour déterminer qui est le gagnant du jeu, certaines composantes sont nécessaires :

- comment détermine-t-on la fin d'une phase d'activité ?
- comment détermine-t-on les points de victoires et/ou les conditions nécessaires pour savoir si un joueur gagne ?

Nous proposons de définir quatre types de caractéristiques permettant de gagner des points et de définir un état final d'une phase de jeu :

- en fonction de la valeur temporelle ;
- en fonction de l'état de l'environnement ;
- en fonction des actions réalisées ;
- en fonction d'une combinaison des différentes possibilités précédentes.

VI.1.6.1 Fin d'une phase de jeu

Nous proposons trois exemples illustrant :

- un état final défini par une valeur temporelle (durée du jeu) (Figure 155) ;
- un état final défini par un objectif à attendre (Figure 156) ;
- un état final défini par la réalisation d'une action (Figure 157).

```

35 <EndState id=1>
36   <conditions id=1>
37     <timelimit>900</timelimit>
38   </conditions>
39   <goals>
40     <goal>
41       <zone>
42         <name>Z_wh_raw</name>
43         <gameObject>
44           <type>3</type>
45         </gameObject>
46       </goal>
47     </goals>
48   </conditions>
49 </EndState>

```

Figure 155 : Description d'un état final dirigée par le temps

Afin de décrire un état final défini par une temporalité, nous utilisons le type de description présenté en Figure 155. Dans cet exemple, la phase « 1 » est finie lorsque 15 minutes se sont écoulées. En phase 1, la récupération d'objet de type 3 en zone « Z_wh_raw » est une action prédominante dans cette phase, formulable au joueur comme étant le but du jeu.

```

1 <EndState id=2>
2   <conditions id=1>
3     <zone>
4       <name>Z_wh_raw</name>
5       <gameObject>
6         <type>3</type>
7         <id>4</id>
8         <properties>
9           <property>
10            <name>quantity</name>
11            <type>integer</type>
12            <value>1</value>
13          </property>
14        </properties>
15        <points>50</points>
16      </gameObject>
17    </zone>
18  </conditions>
19 </EndState>
20

```

Figure 156 : Description d'une fin de phase dirigée par l'état de l'environnement

Lorsque l'état final d'une phase est déterminé par un état à atteindre du système, nous utilisons le type de description proposé en Figure 156. Dans cet exemple, la phase est finie quand un

objet de type « 3 » ayant la propriété « quantité » de valeur « 1 » est présent dans la zone « Z_wh_raw ».

```

20 <EndState id=3>
21   <conditions id=1>
22     <task id=1>
23       <action id=1>Action 1</action>
24       <action id=2>Action 2</action>
25       <link>and</link>
26     </tasks>
27   </conditions>
28   <goal id=1>
29     <gameObjects>
30       <gameObject>
31         <type> 2 </type>
32         <properties>
33           <property>
34             <name>quantity</name>
35             <type>integer</type>
36             <value>1</value>
37           </property>
38         </poperties>
39       </gameObject>
40     </gameObjects>
41   </conditions>
42 </goal>
43 </EndState>

```

Figure 157 : Description d'une fin de phase dirigée des par tâches

Afin de décrire un état de fin de phase définie par la réalisation d'une action, nous utilisons le type de description présenté en Figure 157. Dans cet exemple, l'état final est atteint lorsque la tâche 1 puis la tâche 2 sont réalisées. Le but du jeu est associé à l'existence dans toutes zones confondues des entités de type 2 en fin de phase.

VI.1.6.2 Gestion des points ou de la victoire

Le but correspond à **un ensemble d'états voulus**, c'est donc une situation souhaitée de l'environnement à atteindre à la fin de la phase de jeu. Ainsi, même si l'état final est atteint par valeur temporelle, le modèle des objectifs du JPCS peut faire le lien avec les buts du jeu (par exemple, au football, c'est le nombre de buts marqués au bout de 90 minutes qui compte).

```

1 <victory id=2>
2   <zone>
3     <name>Z_wh_raw</name>
4     <gameObject>
5       <type>3</type>
6       <id>4</id>
7       <properties>
8         <property>
9           <name>quantity</name>
10          <type>integer</type>
11          <value>1</value>
12        </property>
13      </poperties>
14      <points>50<points>
15    </gameObject>
16  </zone>
17 </victory>

```

Figure 158 : Définition des points à partir de l'état de l'environnement

Dans l'exemple présenté en Figure 158, à chaque fois qu'un objet de type 3 est ajouté dans la zone « z_wh_raw », l'utilisateur qui a réalisé l'action gagne 50 points.

Dans de nombreux cas, la réalisation d'indicateurs permettant d'évaluer la performance des apprenants est une formule plus complexe, mais à partir de ce type de modèle nous pouvons accéder aux objets qui permettent de faire gagner des points.

VI.1.7 Modélisation des interactions homme-machine en environnement mixte

VI.1.7.1 Modèle IRVO

■ Introduction

Le formalisme IRVO (*Interaction with Real and Virtual Objects*) a été défini par Chalon (Chalon, 2004) afin d'exprimer les interactions dans le contexte MOCOCO (Mobilité, Collaboration, Contextualisation). Ce formalisme permet de modéliser les interactions entre les utilisateurs et le système de réalité mixte en précisant les outils et les objets mis en jeu ainsi que leurs relations. IRVO permet également la prise en compte du travail collaboratif ; il est en effet possible de représenter des cas d'interactions multi-utilisateurs.

■ Principes

Dans ses travaux, Chalon (Chalon, 2004) propose une définition des différentes entités intervenant dans une tâche (Figure 159) :

- l'utilisateur ;
- l'objet du domaine de la tâche ;
- l'outil.

L'**objet du domaine de la tâche** est l'objet sur lequel **se porte l'intérêt de l'utilisateur pour la tâche**. Celui-ci est caractérisé par la modification de son état en rapport avec le but de l'utilisateur. Un **outil** permet la modification de l'**objet** de la tâche par l'**utilisateur**.

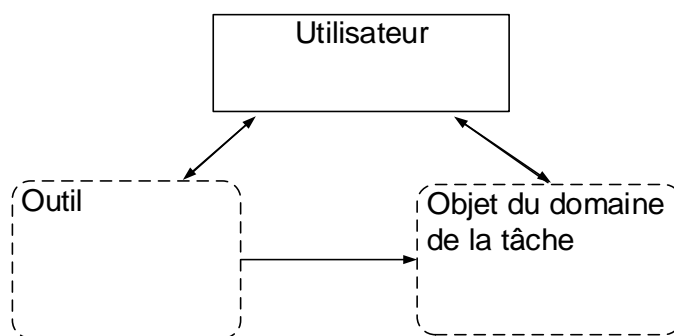


Figure 159 : Modélisation des entités dans une tâche

En synthèse, IRVO est composé de trois types d'entités : les objets, les outils et les utilisateurs.

■ Formalismes

Le modèle IRVO distingue trois catégories principales d'entités (Figure 160) :

- Utilisateur (U), ou plus généralement des utilisateurs du système mixte.
- Les objets manipulables et perceptibles par les utilisateurs ; ils sont répartis en deux sous-catégories selon l'usage qui en est fait par l'utilisateur :
 - Objet (O) : C'est l'objet sur lequel se porte l'intérêt de l'utilisateur pour la tâche. Cela peut être soit un objet physique, soit des données informatiques représentées sous une forme externe perceptible (objet virtuel) ;
 - Outil (T - Tool) : ils participent à la réalisation de la tâche en permettant à l'utilisateur d'agir sur d'autres objets.
- Modèle (M) interne de l'application qui représente l'application informatique privée de la couche de présentation concrète.

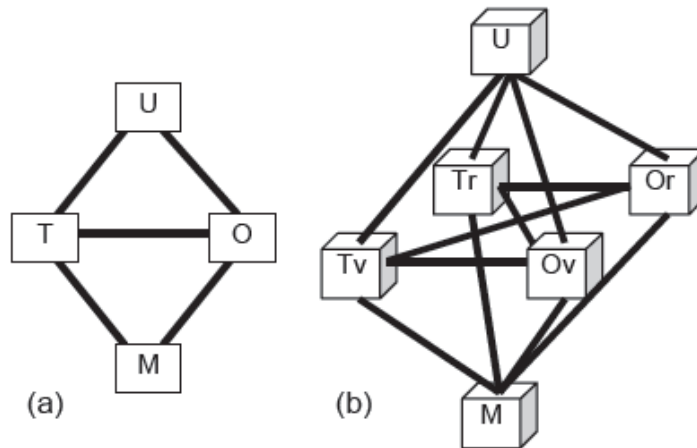


Figure 160 : Principales entités et relations du modèle IRVO

Les utilisateurs sont en relation avec les objets (mais pas directement avec le modèle interne). Le modèle interne est en relation avec les objets pour connaître leur état et éventuellement les modifier (Figure 160a). L'utilisateur se trouve dans le monde physique et le modèle interne de l'application se trouve dans le monde virtuel, dans le cas de réalité mixte, les outils peuvent être physique (Tr) ou numérique (Tv), et peuvent agir sur des objets physiques (Or) ou numériques (Ov) (Figure 160b).

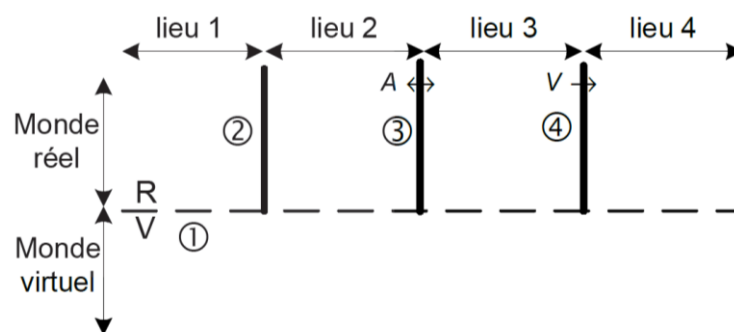


Figure 161 : Représentation des frontières du modèle IRVO

Les **frontières** permettent de représenter les propriétés des entités de manière topologique : il suffit qu'une entité se trouve dans un lieu délimité par des frontières pour qu'elle possède l'une des valeurs possibles de la propriété représentée par la frontière. Deux types de frontières sont représentés :

- La frontière monde physique/monde numérique représentée par une ligne horizontale pointillée (Figure 161 ①).

- Les frontières entre différents lieux du monde réel représentées par une ligne verticale (Figure 161 ②). Les lignes ③ et ④ représentent respectivement la frontière franchissable par audio, la frontière franchissable par la vue dans un sens seulement (vitre teintée par exemple).

L'**utilisateur** est principalement représenté par les canaux qu'il peut utiliser (Figure 162) :

- Le canal visuel (V) : c'est essentiellement une entrée (sens de la vue), mais aussi une sortie (direction du regard détectée par un eye-tracker) ;
- Le canal audio (A) : ce canal peut être en entrée ou en sortie ;
- Le canal kinesthésique/haptique (Kh) : en sortie (manipulation, geste...) ainsi qu'en entrée (sens de toucher).

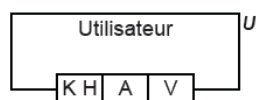


Figure 162 : Représentation d'un utilisateur

Les **relations** sont matérialisées par des flèches et représentent l'échange d'information entre deux entités (Figure 163). Pour un utilisateur cela peut être une action (une flèche partant de U – flèche ①) ou une perception (une flèche arrivant à U – flèche ④). Le canal de l'utilisateur d'où part ou arrive une relation indique la nature de l'information. (Haptique et visuelle dans le cas des flèches ② et ③).

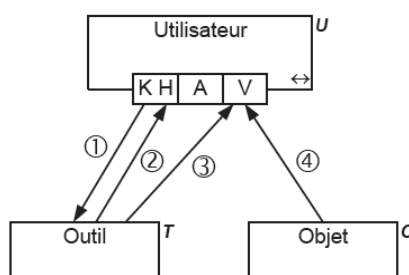


Figure 163 : Représentation des relations

Pour communiquer entre les mondes physique et numérique, l'information provenant du monde physique est transformée en données numériques, ce qui est réalisé par des senseurs (Figure 164a) ; l'opération inverse est réalisée par des effecteurs (Figure 164b).

Les transducteurs sont toujours placés à la frontière entre les mondes réel et virtuel. Parce qu'ils ne font que transformer la nature de l'information (réelle vers virtuelle ou l'inverse), ils ne participent pas directement à l'interaction et leurs représentations sur un schéma sont facultatives.

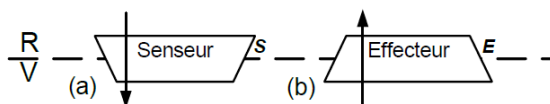


Figure 164 : Représentation des transducteurs

L'**objet mixte** est « à cheval » entre les mondes physique et numérique. IRVO réalise une composition entre un objet réel (O_r) et un objet virtuel (O_v) pour un objet mixte, respectivement T_r et T_v dans le cas d'un outil (Figure 165).

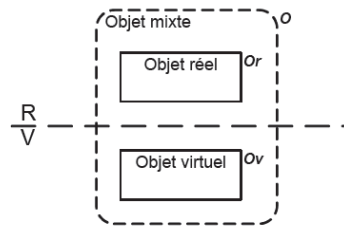


Figure 165 : Modélisation d'un objet mixte

Les entités présentes sont caractérisées par leur mobilité :

- Fixe (\otimes) ;
- fixe pendant une tâche (\times) ;
- mobile (\leftrightarrow).

La mobilité peut être absolue ou relative à une autre entité. Par exemple, des lunettes de réalité augmentée portées par l'utilisateur correspondent à un dispositif fixe par rapport à l'utilisateur, mais mobile par rapport à l'environnement ('U \times ') (Figure 166).

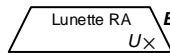


Figure 166 : Mobilité d'un dispositif de réalité augmentée

■ Utilisation

IRVO est conçu pour être utilisé dans la phase de conception du système et reflète l'utilisation future du système par l'utilisateur. Il se place au niveau des tâches élémentaires d'interaction. Il s'agit d'un niveau très concret où l'on considère les actions élémentaires de l'utilisateur avec le système. **Il existe à priori autant de modélisation IRVO que de tâches élémentaires.**

IRVO a d'abord été prévu pour être utilisé en phase de **conception** pour explorer plusieurs configurations de dispositifs, de techniques d'interaction et comme moyen de formaliser une solution dans le cahier des charges. Il permet aussi de proposer des schémas utilisant un formalisme compréhensible par des non-spécialistes, pour permettre une meilleure communication entre les différentes équipes dans la phase d'émergence et de formalisation de l'objet conceptuel ;

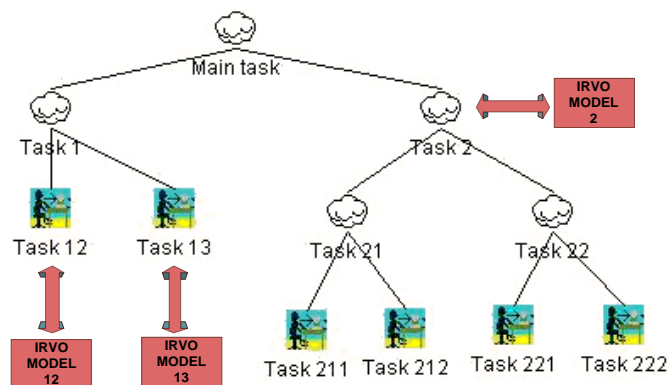


Figure 167 : Adéquation entre modèle de tâches et modèle d'interaction

Les modèles d'interaction sont dépendant des tâches à réaliser et des entités spécifiques présentes. Ainsi pour chacune des entités présentes en rapport avec une action de l'utilisateur (et donc à une feuille de l'arbre des tâches) correspond un modèle d'interaction. Il est néanmoins possible, dans les cas où les mêmes objets/outils sont utilisés, de proposer le même modèle IRVO pour plusieurs tâches et ainsi positionner les modèles d'interaction en corrélation avec des nébuleuses de plus haut niveau.

Le modèle de tâche étant lui-même associé aux objets du domaine de la tâche la corrélation entre activités, interactions et environnement est exprimée (Figure 167).

VI.1.7.2 Notre extension IRVO+

Nous proposons une évolution d'IRVO vers un formalisme plus précis des relations spatiales entre les différentes entités présentes de l'interface. Ce modèle est appelé IRVO+. Un des enjeux de cette adaptation (d'IRVO en IRVO+) est de pouvoir l'utiliser en parallèle avec le modèle d'environnement. Il reprend donc les notions de zones issues du modèle d'environnement IME-DEMO (§VI.1.4), et de ce fait uniformise et précise les notions de frontières issues d'IRVO.

■ Ajout de la notion de zone

Dans certains cas, les environnements interactifs mixtes permettent le contrôle d'entités numériques sans avoir d'objets physiques à manipuler et/ou donnent de l'importance aux déplacements de l'utilisateur :

- dans les interactions gestuelles, la captation de la gestuelle de l'utilisateur permet de manipuler différents éléments de l'interface utilisateur. La tangibilité de l'interaction se fait au travers du corps de l'utilisateur et non de l'interface ;
- dans les interactions tangibles à gros grain, l'utilisateur est dans un espace interactif et peut se déplacer parmi et autour des différents composants de l'environnement afin de les manipuler. La tangibilité de l'interface ne se fait pas au travers des objets physiques directement manipulés, mais par la tangibilité des mouvements de l'utilisateur et le rôle joué par l'environnement physique dans son activité.
- Ainsi, que ce soit dans le cadre d'interactions gestuelles ou d'interactions tangibles à gros grain, l'interaction avec la notion de zone d'action est particulièrement importante (le champ de vision de la caméra ou encore l'envergure des bras).
- Cependant, le modèle IRVO propose de modéliser les interactions homme-machines en faisant intervenir uniquement les objets/outils physiques et les entités numériques manipulées/perçues, avec le lien entre ces différents objets. Nous pensons donc qu'il est important d'ajouter, dans le modèle d'interaction, les considérations associées aux distances entre les différentes entités (objet/outil/utilisateurs) d'un environnement.

Pour cela, nous proposons l'ajout de la notion de zone comme moyen de structurer les relations de distance entre les différents éléments d'un même environnement (physique ou numérique), comme moyen d'introduire un modèle géométrique topologique définissant si les objets sont proches ou non. Dans ce type de modèle géométrique, dans une zone donnée, tout élément contenu dans une zone est considéré comme proche des autres éléments de la zone.

Dans IRVO (Interacting with Real and Virtual Objects) certaines notions de distance sont déjà présentes, en particulier, nous pouvons parler des **frontières verticales** dans le monde physique représentant une non-perception ou une perception partielle des utilisateurs/objets présents.

Dans un objectif d'unification des différentes relations de distance dans les environnements physique et numérique, ainsi que pour permettre la réalisation d'environnement plus complexe

avec une réelle structure, nous avons supprimé les frontières verticales et les avons remplacées par deux zones contenues dans une zone parente.

Le formalisme IRVO+ reprend les trois entités présentes dans IRVO, c'est-à-dire les utilisateurs, les objets et outils et **ajoute la notion de zone**, afin de permettre une structuration spatiale de l'environnement, et ainsi une description de la distance. Selon le formalisme issu d'IRVO, nous avons pour entités modélisées (Figure 168) :

- les utilisateurs (U) ;
- les objets du domaine de la tâche (O) ;
- les **zones** (Z) ;
- les outils (T) dans les différents environnements proposés

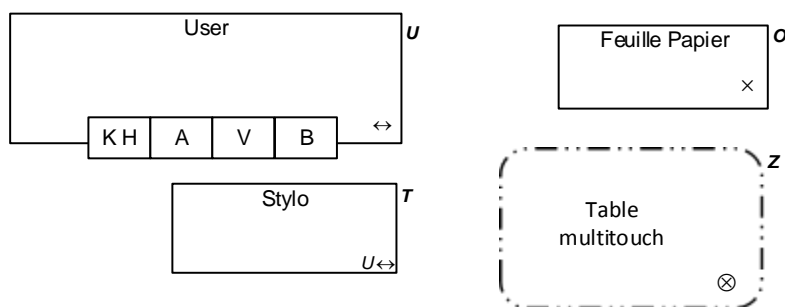


Figure 168. Différentes entités modélisées avec IRVO+

Nous distinguons différents types de lieu nécessitant une modélisation :

- les zones d'actions/perception de l'utilisateur ;
- les zones de perception/effection des transducteurs dans l'environnement physique ;
- les zones de traitement/perception de l'interface numérique ;
- les zones logiques, structurant l'environnement logique, issu du noyau fonctionnel.

Dans l'environnement physique, nous distinguons deux types de zones :

- les zones d'action / de perception de l'utilisateur ;
- les zones de perception / d'effection des transducteurs.

Ces deux types de zones permettent de décrire à la fois les zones d'action/perception d'un utilisateur et celle de captation/affichage d'un système interactif. Lorsque l'intersection des zones de l'utilisateur et des zones du transducteur n'est pas vide, l'utilisateur peut interagir avec le système, sinon, celui-ci a besoin de se déplacer ou de modifier la configuration spatiale du système. Nous présentons par exemple, en Figure 178, deux modèles de cas :

- l'utilisateur ne peut pas percevoir/agir sur le système (à gauche) ;
- l'utilisateur peut interagir avec le système (à droite).

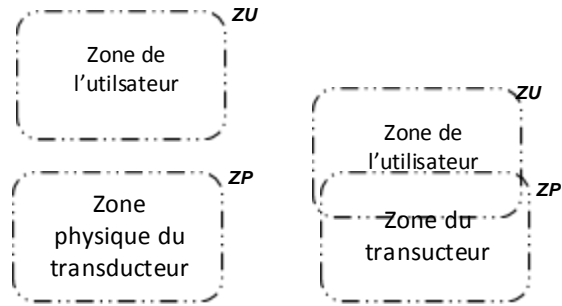


Figure 169 : Les différents transducteurs et zones associées

Les transducteurs (qui permettent de capter les informations issues du monde physique et d'afficher des informations issues du monde numérique dans le monde physique) restent optionnels dans la modélisation des tâches. Nous associons à chacun de ces transducteurs **une/des zone(s) dans l'environnement physique et dans l'environnement numérique** : à chaque senseur est associé une zone physique et une zone d'interface et à chaque effecteur est associé une zone physique et une zone d'interface.

Deux différents cas sont possibles :

- dans le cas des senseurs (dispositifs d'entrée), la zone physique est une zone d'action de l'utilisateur et la zone d'interface est une zone de traitement ;
- dans le cas d'effecteurs (dispositifs de sortie), la zone physique est une zone de perception de l'utilisateur et la zone d'interface regroupe l'ensemble des différentes zones logiques à afficher (c'est-à-dire les concepts manipulés dans un lieu spécifique).

Dans le formalisme IRVO+, nous proposons d'utiliser des flèches comme moyen de représenter les relations entre zones physiques et d'interfaces. Les flèches partant du monde physique vers le monde numérique représentent la captation d'informations (objets/utilisateurs) dans le monde physique, permettant sa future interprétation et les flèches partant du monde numérique vers le monde physique permettent l'émission d'information numérique (quel que soit les sens utilisés) par des dispositifs d'interaction (informations affichées et sons produits principalement).

En utilisant l'exemple d'un utilisateur faisant une présentation devant un groupe d'individus, le présentateur contrôle son support numérique grâce à la réalisation de gestes et les autres utilisateurs perçoivent sur un écran de projection des informations numériques (système utilisant en simultané un vidéoprojecteur, un écran de projection et une caméra de profondeur).

Nous pouvons modéliser en utilisant IRVO+ la tâche réalisée dans l'environnement physique de cette manière (Figure 170) :

- L'écran de projection (et plus exactement la zone où l'image est projetée) est la zone de perception de l'utilisateur ;
- Le champ de vision de la caméra est la zone de contrôle de l'utilisateur.

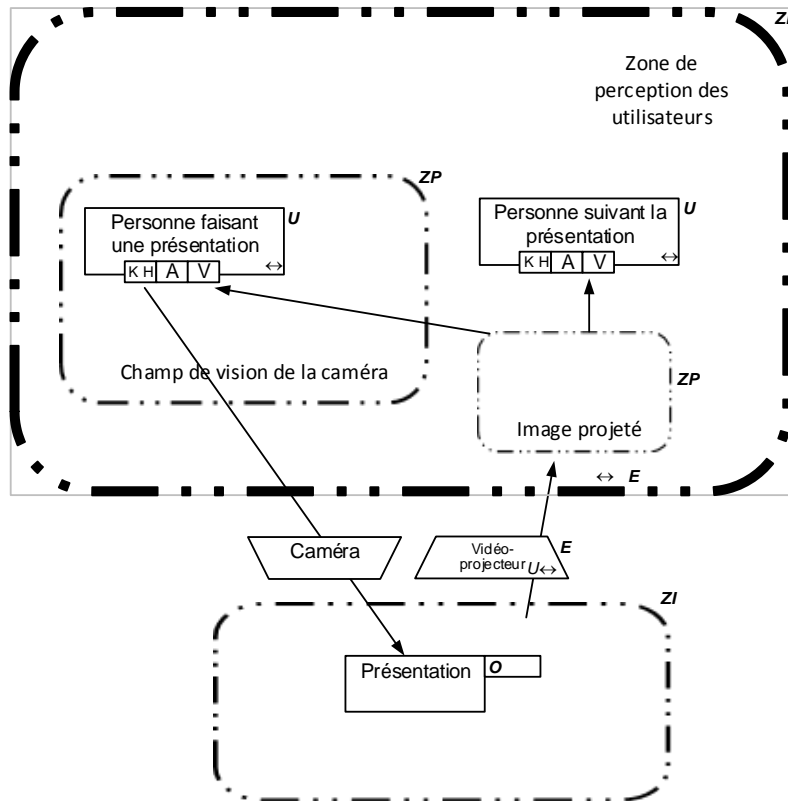


Figure 170 : Exemple de modèle d'interactions gestuelles

Une table tactile est modélisable à la fois comme zone de perception et d'effection des transducteurs. Dans le cadre du prototype de logiciel de création musicale assistée par interface tangible, nous avons réalisé différents modes de manipulation des filtres (permettant la modification de l'échantillon musical) :

- Utilisation d'une Interface tactile pour modifier les filtres ;
- Utilisation d'objet physique associé, utilisé comme représentation des filtres numériques.

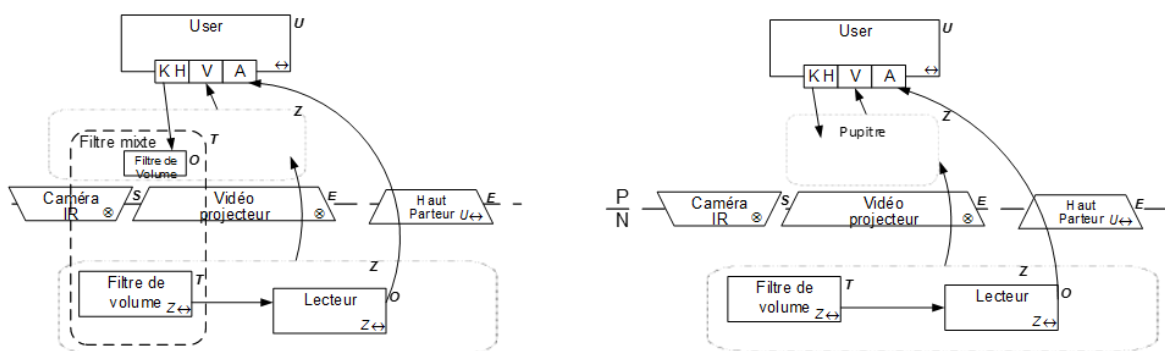


Figure 171 : Modélisation IRVO de la Configuration avec (a) et sans (b) objet physique

Lorsque l'objet physique est présent sur la table, l'objet numérique associé existe, et lorsque celui-ci est enlevé de la table, l'objet numérique associé disparaît. À ces deux configurations interactives, nous pouvons associer deux modèles IRVO+ différents :

- le modèle présenté en Figure 171a pour la configuration avec utilisation d'interaction tangible ;
- le modèle présenté en Figure 171b pour la configuration tactile.

■ Utilisation

En synthèse, IRVO+ modélise des interactions homme-machine en environnement mixte. Pour cela, ce modèle suit une double approche :

- une approche instrumentale basée sur la distinction entre acteurs, outils et objets de la tâche ;
- une approche interactionnelle basée sur les éléments interactifs issus du monde physique et du monde numérique.

En ajoutant la notion de zone, IRVO+ permet de prendre en compte la distance entre les différentes entités (utilisateurs, objets et outils) comme caractéristique de l'interaction, que ce soit dans l'environnement physique, dans l'interface numérique.

En ajoutant la notion de zone dans IRVO (et le transformant en IRVO+), nous proposons une extension compatible avec le modèle d'environnement qui décrit la structure des différents environnements de réalité mixte (§VI.3.5). L'utilisation du modèle d'environnement mixte précisé par celui d'interaction est un moyen pour utiliser ces modèles en phase de **production**. Par l'intermédiaire d'un outil d'édition, proposant des fichiers de description des différents modèles, il est alors possible de déployer les différentes parties de l'interface sur les différents dispositifs d'interaction et d'apparier les objets physiques à des entités numériques.

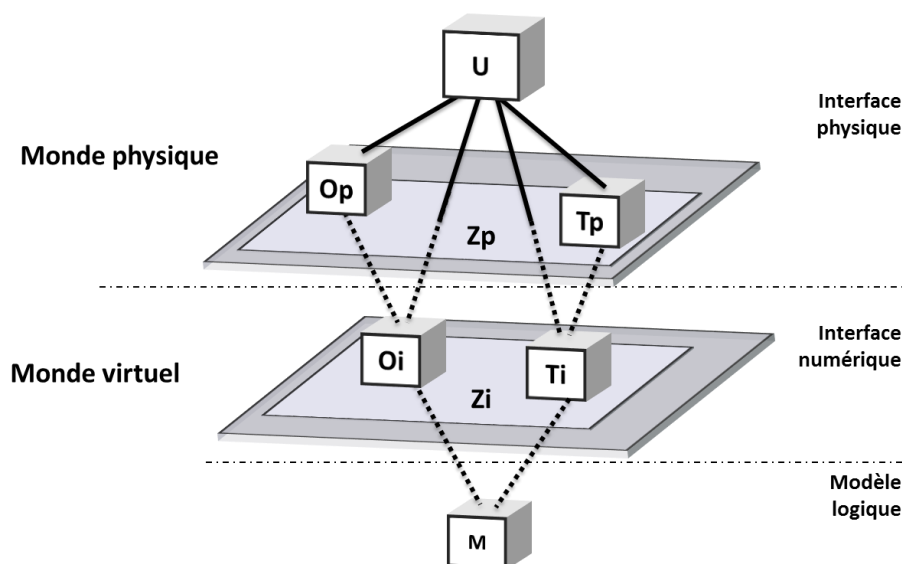


Figure 172 : Les entités présentes dans IRVO+

■ Exemple d'utilisation

Dans le prototype lea(r)nIT, nous utilisons un pistolet à colle (présenté en §IV.4.2 pour ce qui est de ces caractéristiques et en §VII.2.2.2 pour ce qui est de son utilisation). Dans cet exemple, le pistolet à colle mixte est composé d'une partie physique, permettant à l'utilisateur de réaliser l'action de coller et d'une partie numérique permettant la réalisation numérique de l'activité.

Les modèles d'architecture sont utilisables comme structure architecturale d'une application, qui peut être définie comme un ensemble organisé de composants, utilisant à la fois des composants et des connecteurs pour décrire les interactions entre les différents composants.

Trois types de modèles ont principalement été proposés en ingénierie des interactions hommes-machines :

- les modèles en couche ;
- les modèles en agent ;
- les modèles hybrides multicouches et multi-agent.

Ces modèles correspondent à deux approches, une qui s'intéresse à la manière dont un système est conçu et une qui s'intéresse à la manière dont il est réalisé. Enfin, une troisième approche utilise les deux logiques de structuration simultanément, afin d'avoir les propriétés de chacune des deux approches.

Nous pouvons parler aussi de style architectural. En effet, parmi l'ensemble des logiciels informatiques, la plupart se classe parmi un nombre restreint de styles architecturaux. Il est possible de combiner les styles architecturaux pour que de nouveaux apparaissent.

VI.2.1 Fondement théorique sur les architectures IHM

Pour décrire un système, deux approches sont utilisées en IHM :

- la première s'intéresse à la manière dont le système fonctionne (en couche) ;
- la seconde s'intéresse à la manière dont un système est construit (en agent).

La logique en couche décrit la structuration fonctionnelle de l'application, permettant une meilleure réutilisation des composants et correspondant plus à une distinction par métier.

La logique en agent est plus simple à comprendre pour le concepteur, car la structuration suit une logique de décomposition des différents éléments hiérarchiquement, mais ne permet pas de réutiliser correctement les caractéristiques de l'application par fonction.

L'utilisation conjointe des deux approches, bien que plus compliquée à comprendre que la décomposition par agent ou par couche, est pour nous l'approche qui semble la plus juste.

VI.2.1.1 Modèle en couche

■ Le Modèle Arch

Le modèle Arch (UIMS, 1992) est un raffinement du modèle Seeheim (Pfaff, 1985). Dans Seeheim trois couches sont représentées :

- Une couche « Présentation » qui définit les aspects lexicaux de l'interaction avec l'utilisateur et en particulier l'organisation de l'écran et la disposition du clavier ;
- Une couche « Dialogue » qui définit les aspects syntaxiques de l'interaction et qui est responsable des aspects dynamiques de l'application ;
- Une couche « Interface de l'application » (Application Interface) qui est une couche d'adaptation du noyau non interactif de l'application.

ARCH reprend le contrôleur de dialogue de Seeheim au centre de l'arche et ajoute deux couches, une de chacun de ses côtés, pour arriver à cinq couches (Figure 174).

Du côté du noyau fonctionnel, deux niveaux sont distingués :

- Le « noyau fonctionnel » de l'application qui gère les données internes et leur rémanence ;
- L'« adaptateur du noyau fonctionnel » qui correspond à la couche « interface de l'application » de Seeheim.

Au niveau de la présentation, deux niveaux sont distingués :

- Un niveau abstrait, comportant les objets de présentation et d'interaction sans savoir la manière dont ils vont être affichés ou manipulés ;
- Un niveau concret, qui donne à chaque entité du niveau abstrait une présentation finale et transforme les actions détectées par l'utilisateur en commandes sémantisées.

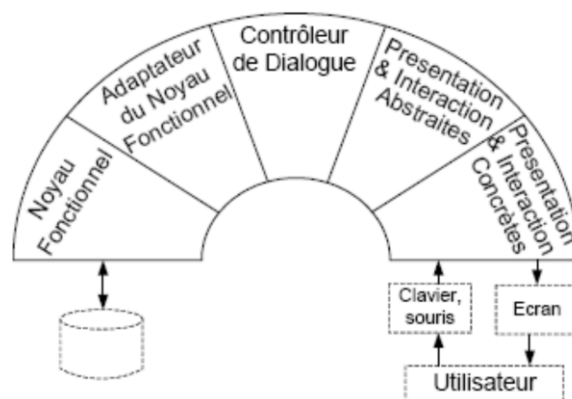


Figure 174 : Modèle ARCH

■ Le modèle CAMELEON

CAMELEON (Calvary et al., 2003) (Cameleon projet, 2004) (Context Aware Modelling for Enabling and Leveraging Effective interactiON) est un projet ayant pour but la production de méthodes de conception de logiciels hautement interactifs, et en particulier des couches IHM du logiciel. Le projet a permis la production d'un modèle d'architecture de systèmes interactifs et de modèles associés. Dans l'architecture présente, les auteurs ajoutent une troisième couche de présentation : l'interface finale, qui précise de manière plus spécifique les différentes composantes de chacune des différentes parties de l'interface utilisateur.

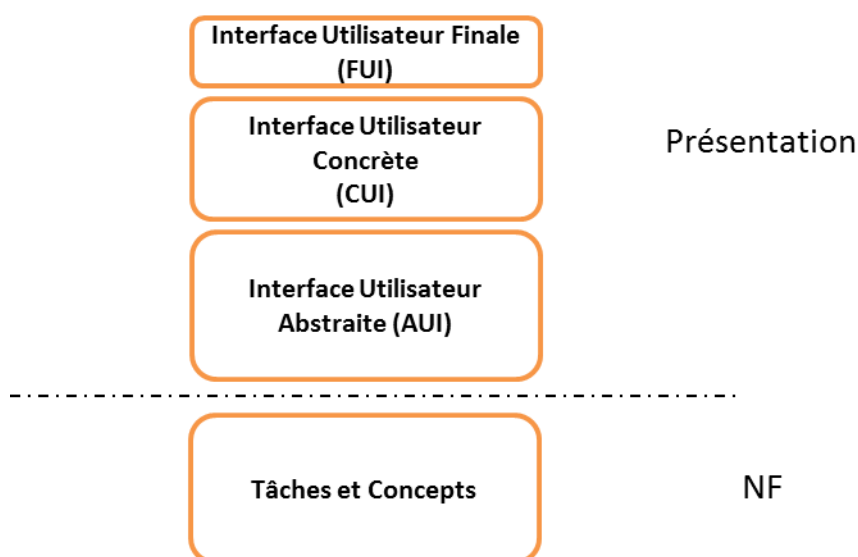


Figure 175 : Différents niveaux d'abstraction des interfaces utilisateurs de CAMELEON

L'architecture de l'interface utilisateur (présentation) est décomposée en trois parties, associées à l'adaptateur du noyau fonctionnel (tâches et concepts) (Figure 175) :

- **Les tâches et les concepts** correspondent aux entités issues de l'adaptateur du noyau fonctionnel. La tâche peut par exemple être « renseigner la date de naissance », le concept pouvant dans ce cas être l'information « date de naissance » ;
- **La présentation abstraite** (Abstract User Interaction) est la forme canonique des objets du domaine et des opérations réalisables associées. Elle inclut donc en même temps les tâches réalisables et les objets perceptibles/manipulables par les utilisateurs ;
- **La présentation concrète** (Concrete User Interface) transforme la présentation abstraite dans une expression dépendant des interacteurs utilisés. La CUI rend explicite la manière dont les différents objets vont être présentés. Une présentation concrète consiste en une hiérarchie d'objets d'interaction qui résulte directement de la transformation d'objets d'interactions abstraites (Vanderdonck et al., 1993) ;
- **La présentation finale** (Final User Interface) est l'expression finale de cette interface, générée à partir de l'interface concrète en utilisant des librairies graphiques dans un langage particulier sur une plateforme particulière. Cette décomposition se base sur l'utilisation d'un modèle de tâches-concepts, qui réunit les différents objets de l'interface et l'ensemble des tâches possibles.

VI.2.1.2 Modèle en Agent

De nombreux modèles en agent ont été proposés pour modéliser la structure d'un logiciel interactif. Le modèle se structure en une inclusion d'entités de l'interface.

■ Le modèle PAC

Dans le modèle PAC (Coutaz, 1987), reconnu dans le domaine, chaque agent possède trois facettes :

- La facette Présentation (P) modélise le comportement interactif de l'agent. Elle concerne à la fois les entrées et les sorties. La présentation interprète les événements résultant des actions de l'utilisateur et est responsable de l'apparence de l'entité ;
- La facette Abstraction (A) maintient le modèle de données sous-jacent à l'agent. Elle constitue le Noyau fonctionnel de l'agent au sens de Seeheim (Pfaff, 1985) ou Arch (UIMS, 1992) ;
- La facette Contrôle (C) a deux rôles : lier les facettes présentation et abstraction et la communication avec les autres agents.

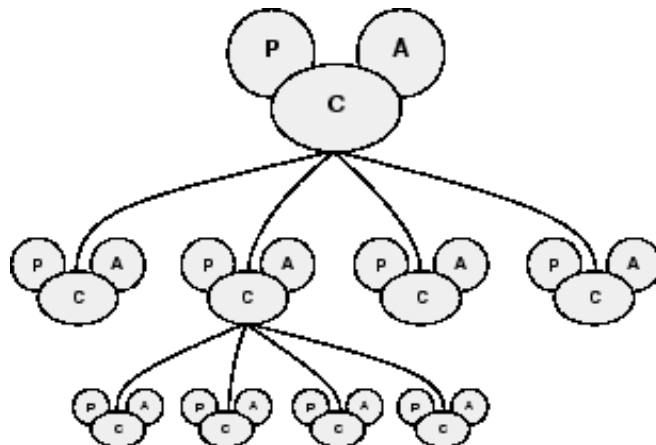


Figure 176 : Le modèle PAC (Coutaz, 1987)

■ Le modèle AMF-C

Le modèle AMF (Agent Multi-Facettes) a été développé à l'École Centrale de Lyon par Kamel Ouadou (Ouadou, 1994) puis étendu au travail collaboratif par le modèle AMF-C (AMF Coopératif) par Tarpin-Bernard (Tarpin-Bernard, 1997).

Le modèle AMF part sur deux critiques du modèle PAC :

- La décomposition Abstraction/Présentation est généralement insuffisante pour des applications complexes. Des fonctionnalités se retrouvent mélangées dans des composants trop macroscopiques alors qu'elles relèvent de thématiques différentes.
- La structure de la facette Contrôle est peu formalisée. Or cette facette et la clef de voûte des modèles d'architecture.

Pour répondre à la première critique, AMF reprend les mêmes facettes de base P, A, C, mais permet d'en ajouter de nouvelles pour des besoins plus particuliers ce qui permet un découpage plus fin des agents interactifs. Une des utilités est de multiplier les différentes « vues » pour les utilisateurs : ces facettes peuvent être identiques ou différentes en fonction des rôles des utilisateurs. La fragmentation des facettes n'est pas limitée aux facettes présentation, mais peut tout aussi bien s'appliquer aux facettes contrôle et abstraction.

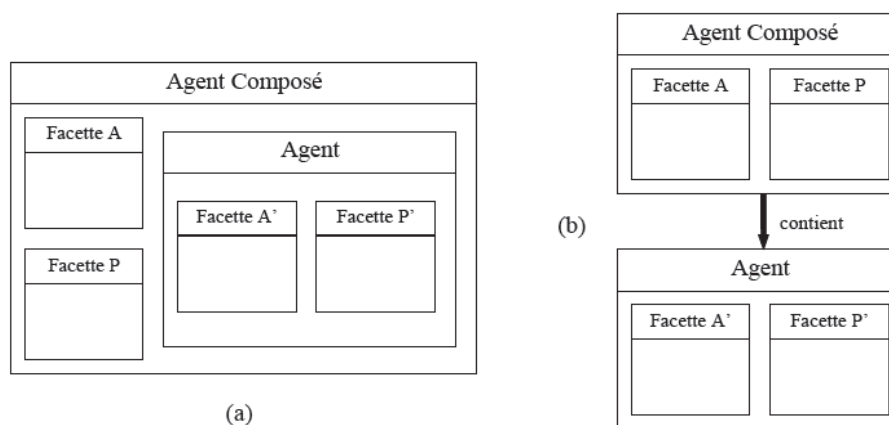


Figure 177 : Composition d'agents AMF – emboîtement (a) et schéma complexe (b)

Dans le modèle AMF, les agents sont organisés de manière hiérarchique selon des règles de composition. Au plus haut niveau se trouve un agent racine (appelé généralement « Application »). La composition peut s'exprimer soit sous forme d'emboîtement (Figure 177a), soit sous forme de graphes utiles pour les schémas complexes (Figure 177b).

Afin de répondre aux problématiques de l'utilisation de multiples dispositifs dans un contexte collaboratif (Tarpin-Bernard, 1997) propose deux approches pour la communication. Soit les utilisateurs agissent tous sur un même agent, fragmenté en plusieurs morceaux répartis sur les différents postes, soit ils interagissent avec leur propre copie de l'agent répliqué sur chaque poste de travail. Une décomposition client/serveur classique est de déployer sur le serveur les facettes contrôle et Abstraction des agents, et sur chaque client la facette Présentation.

Pour répondre à la deuxième critique de PAC, AMF-C propose un formalisme pour modéliser la facette Contrôle et représenter les échanges entre les différentes facettes de l'agent et entre les différents agents. Pour cela, AMF-C utilise des « administrateurs ». Ils peuvent jouer un rôle de traducteur et convertir les données reçues du port source dans un format compréhensible par le port cible. Ils peuvent aussi gérer des règles d'activation des ports sources pour ne propager

le contrôle d'exécution au(x) port(s) cible(s) que si l'ordre des activations des ports sources est conforme à celui attendu.



Figure 178 : Principaux administrateurs de contrôle d'AMF-C

Dans la Figure 178, nous proposons les trois administrateurs les plus couramment utilisés :

- l'administrateur simple (à gauche), qui permet uniquement la communication entre un port source et un port cible ;
- l'administrateur de retour (au centre) qui permet un retour d'information au port source ;
- l'administrateur filtre permet de gérer l'activation d'un port cible d'un ou plusieurs agent(s) et choisit le plus adapté à activer.

VI.2.1.3 Architecture hybride – Décomposition comportementale et structurelle

Si les deux approches semblent de prime abord incompatibles, elles peuvent être combinées pour permettre la double décomposition. Ces logiques sont complémentaires comme le montre le modèle PAC-Amodeus et l'association entre AMF et Arch.

■ Le modèle PAC-AMODEUS

Le modèle PAC-Amodeus (Nigay, 1994) (Figure 179) reprend :

- La structure en cinq couches Arch ;
- La structure en agents PAC.

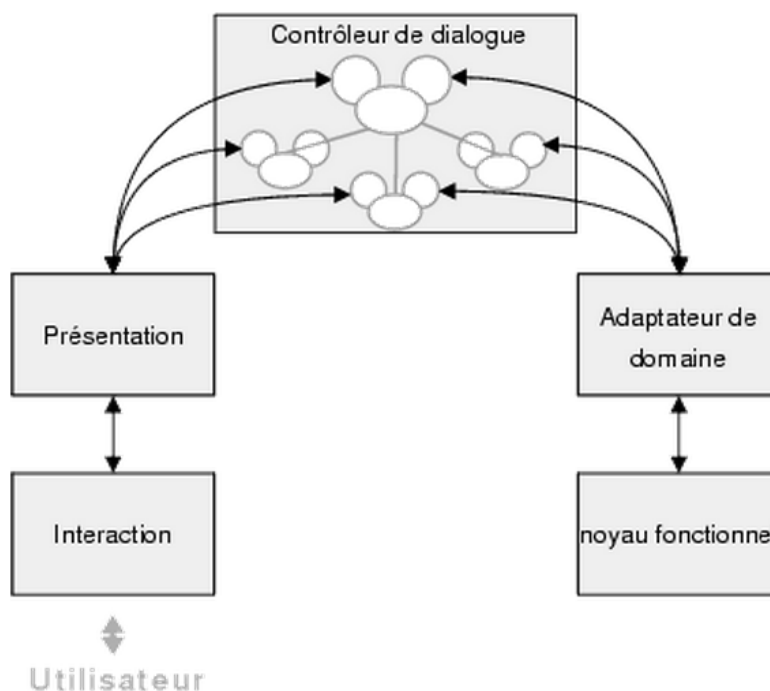


Figure 179 : Modèle PAC-Amodeus

■ Le modèle AMF-C hybride

Le modèle AMF-C hybride a été proposé par Samaan (Samaan et al., 2004) afin de gérer la dualité des vues agents et des vues en couches. De cette manière, la facette Abstraction d'un agent PAC communique avec un objet conceptuel du noyau fonctionnel. Symétriquement, via la facette P, l'agent communique avec un objet de présentation de la couche Composants techniques de Présentation perçue par l'utilisateur par un objet d'interaction de la couche Composants d'Interaction de Bas Niveau.

Les agents d'une application peuvent être considérés comme des entités duales : une partie AMF pour les connexions et les communications gérant la dynamique d'interaction, et une partie application, pour la gestion des objets interactifs de la présentation ainsi que les données et les traitements applicatifs.

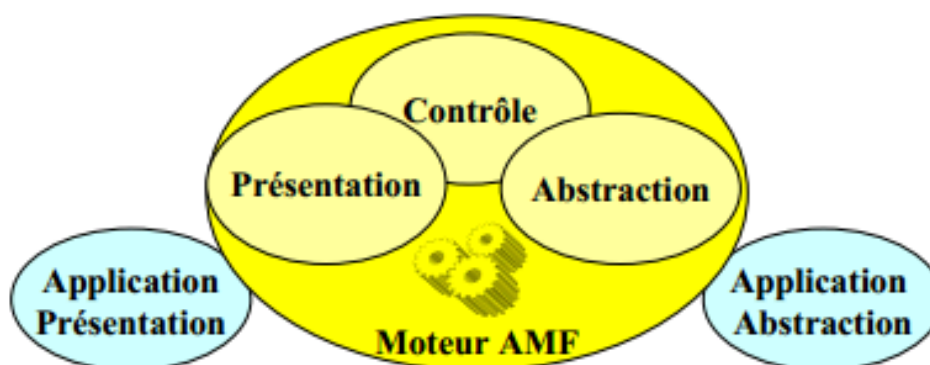


Figure 180 : Version hybride d'AMF-C

De cette manière, les agents AMF-C gèrent le contrôle de l'application, structurent l'adaptateur du noyau fonctionnel et structurent l'adaptateur de la présentation de l'application, comme représenté sur la Figure 180, et permet d'assurer ainsi la compatibilité avec la vision en niveaux du modèle Arch.

Afin de spécialiser ces architectures aux systèmes mixtes et ubiquitaires, différents chercheurs ont proposés des solutions. Nous proposons certains de ces solutions d'architectures en Annexes 2.

VI.2.2 Notre proposition d'agents AMF-C pour structurer le JPCS

Afin de profiter des avantages des modèles en couches et de ceux à agents, l'utilisation d'architecture hybride est choisie. Les avantages d'ajout de facettes nous font opter pour l'utilisation d'AMF-C (Tarpin-Bernard, 1997) comme moyen de structurer et de systématiser les aspects d'apprentissage et ludique.

Notre modèle se base sur cinq types d'agents :

- les agents Objets ;
- les agents Outils ;
- Les agents Zones ;
- Les agents Rôles ;
- L'agent maître du JPCS

VI.2.2.1 Agents génériques du JPCS

Nous modélisons les objets, outils et zones du jeu sous forme d'agent AMF-C afin de mettre en relation les entités de l'interface et celles du noyau fonctionnel. La partie abstraite de l'agent fait le lien avec le noyau fonctionnel, et les facettes de présentation sont relatives aux présentations numériques et physiques des entités.

Trois facettes spécifiques aux JPCS ont été ajoutées :

- La facette « présentation réelle », qui comme proposé par Chalon (Chalon, 2004) permet une deuxième facette de présentation associée aux spécificités de l'environnement ;
- La facette apprentissage, qui est utilisée pour permettre l'accès aux contenus pédagogiques, avec en particulier les informations relatives aux connaissances à apprendre et les comportements relatifs aux règles à apprendre ;
- La facette ludique, qui permet la réalisation de comportements ludiques (gameplay), sous forme de comportement spécifique de l'agent (comme les briques ludiques de Djaouti (Djaouti, 2011)).

La présence d'une facette « réelle » et d'une facette « présentation » est optionnelle en fonction du besoin en terme d'interface. **Les entités du jeu sont toutes issues de cet agent puis sont spécialisées en fonction de leur rôle.**

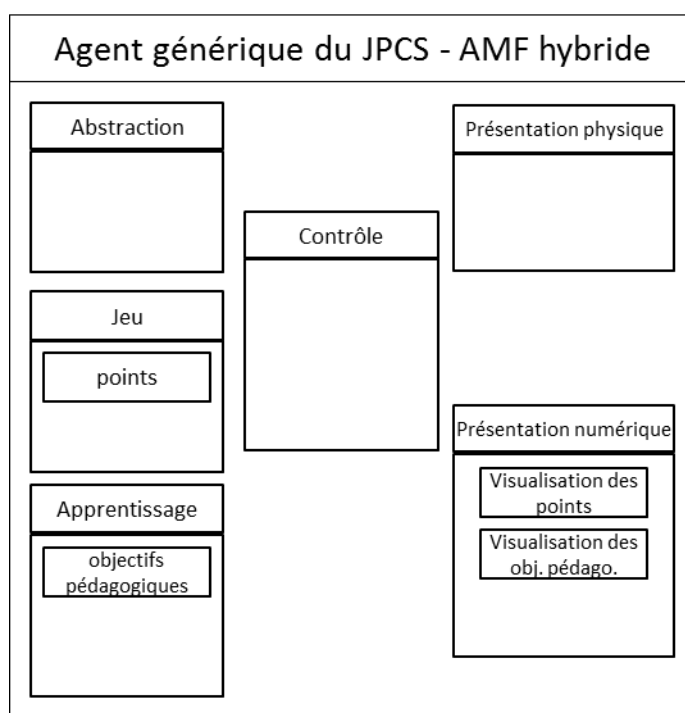


Figure 181 : Agent AMF générique des JPCS

Le choix des types d'entités est défini à partir de leur rôle : objets, outils ou zones. Les entités de type « outil » et « zone » sont une spécialisation de l'agent générique de jeu.

Nous détaillons maintenant les différents agents AMF-C spécialisés que nous utilisons pour produire nos jeux : les agents « objet », « outil », « zone », « rôle ».

La facette de présentation physique est relative à toutes les informations associées aux :

- objets physiques lorsque l'agent est un objet ou un outil ;
- zones physiques d'effection de l'effecteur ou de perception du senseur lorsque l'agent est

une zone ;

- sémantisation de l'utilisateur (des gestes de l'utilisateur dans les interactions avec tous le corps, reconnaissance de l'utilisateur) lorsque l'agent est un rôle ;

Lorsqu'un apprenant réalise une action dans l'environnement physique, celle-ci est :

- captée et interprétée au niveau de l'Interface Utilisateur Finale (FUI) ;
- sémantisée au niveau de l'Interface Utilisateur Concrète (CUI) de manière à être associée aux agents du jeu ;
- puis associée à un outil au niveau de l'Interface Utilisateur Abstraite (AUI).

Les facettes de présentation se déclinent en trois parties :

- **l'interface abstraite** qui permet l'association des tâches abstraites de l'utilisateur et de différentes entités qu'il perçoit ;
- **l'interface concrète** caractérise les tâches et entités interactives selon leurs types de représentations et les techniques d'interaction utilisées (prise en compte des modalités d'interactions, du moyen de représentation graphique) ;
- **L'interface finale** permet la construction des objets tels qu'ils sont perçus par l'utilisateur à partir d'un moteur de rendus, ainsi que les algorithmes de reconnaissance des actions de l'utilisateur et des différents objets physiques présents (TUIO par exemple).

VI.2.2.2 Agent « Objet »

Les agents « objets » du JPCS sont des entités interactives sur lesquelles des actions sont réalisées (par l'intermédiaire des rôles ou des outils). Ainsi une opération, issue d'une technique d'interaction concrète est réalisée par l'utilisateur, qui se transmet à l'agent objet et modifie son état.

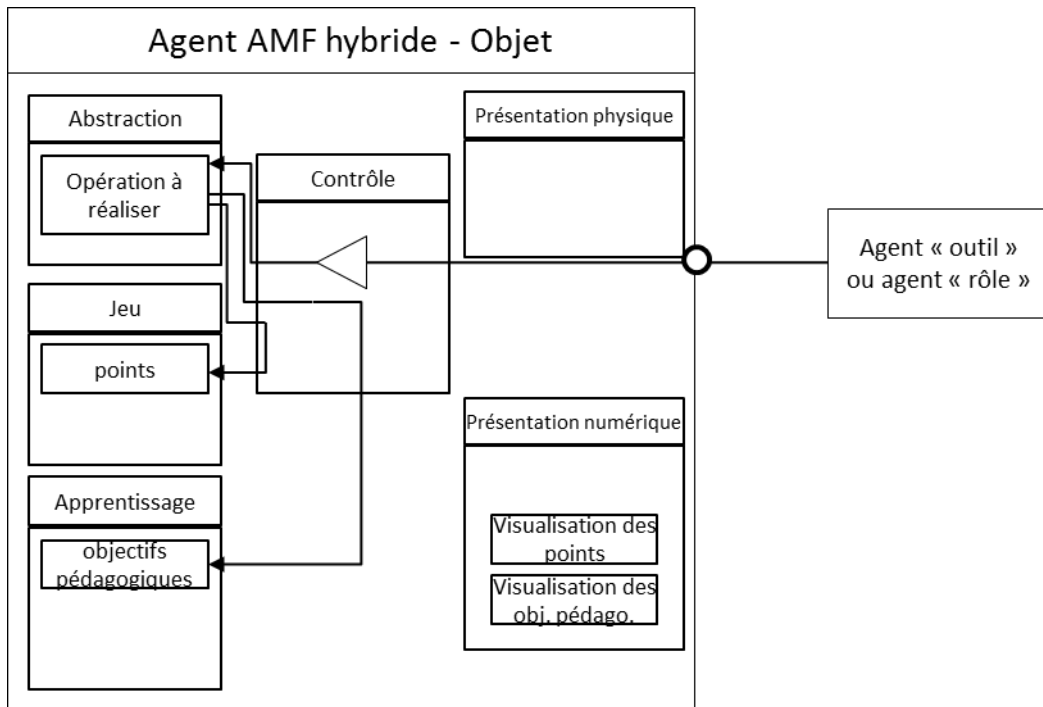


Figure 182 : Modélisation d'un Agent « Objet »

Nous présentons dans la Figure 182 un agent « objet ». Cet agent reçoit une commande d'un autre agent visant à modifier sa nature. Si certaines conditions sont remplies, l'action réalisée peut amener à faire gagner des points (« dans le cas où trois objets ont la propriété XX, vous

avez gagné ») et peut permettre l'accomplissement d'objectif pédagogique (« si vous avez répondu " D " vous avez compris telle connaissance »).

La présence d'un retour associé au système de points ou d'apprentissage peut amener l'apprenant-joueur à se diriger vers cet objet.

VI.2.2.3 Agent « Outil »

Comme nous l'avons expliqué plus haut, un outil n'est pas différent par nature d'un objet. Un outil permet la réalisation d'une opération par un utilisateur sur un (des) objet(s). La différence se situe au niveau de ses capacités potentielles à agir sur les autres objets. Ainsi, un agent Outil AMF-C est un agent « Objet » auquel on ajoute au minimum une « opération » modifiant un ou plusieurs objets.

Dans ce contexte, on définit un outil comme un agent ayant les caractéristiques d'un objet, auquel on ajoute une ou plusieurs opérations possibles dans sa partie abstraite et un ensemble d'agents sur lesquels porte cette opération.

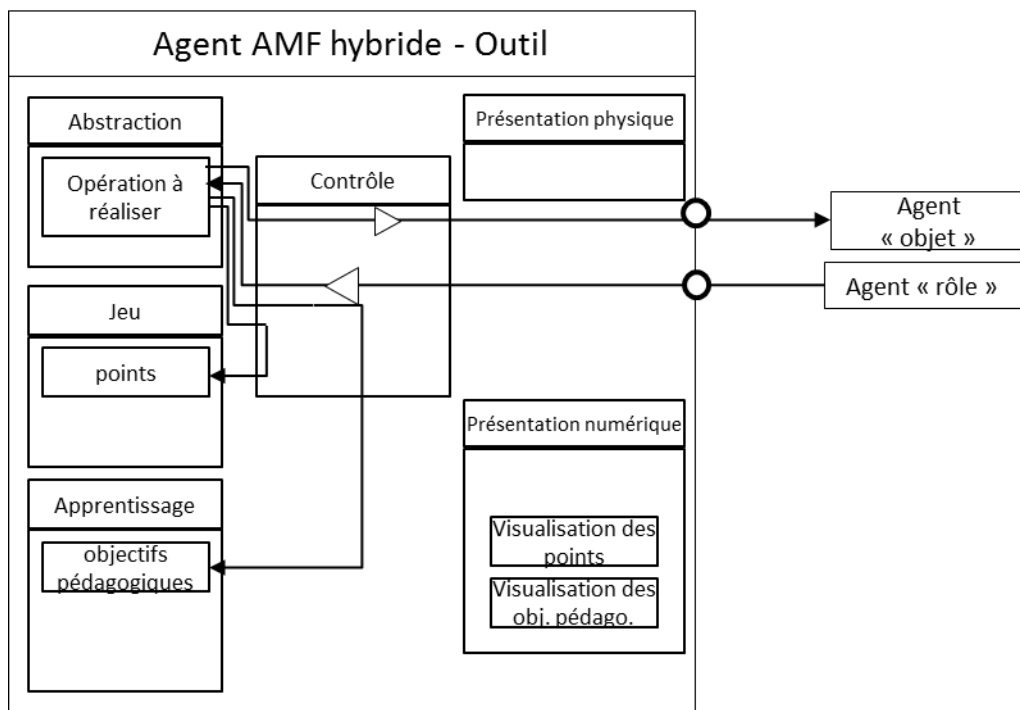


Figure 183 : Modélisation d'un agent « Outil »

Dans l'exemple présenté en Figure 183, un utilisateur réalise une tâche à l'aide d'un outil. Cette action est répercutée sur un objet permettant sa modification.

L'utilisation d'un outil peut permettre par exemple l'attribution des points aux rôles et la validation de certaines connaissances (gestes techniques par exemple).

VI.2.2.4 Agent « zone »

Une zone est un lieu d'action d'entités sur d'autres. Ainsi les zones comportent les entités du jeu et peuvent aussi comporter d'autres zones.

L'**environnement logique** de l'environnement mixte interactif de jeu est la structure spatiale de simulation. Elle permet de définir la localisation des artefacts logiques (objets, outils et avatar).

Pour cela, la structure de l'environnement logique est définie par le modèle d'environnement logique (IME-DEMO-L) (VI.1.4).

De cette manière l'espace logique est structuré en différentes zones et sous-zones qui permettent de définir des relations possibles entre les entités présentes au déploiement du jeu et peut ainsi être peuplé par les différentes entités du jeu.

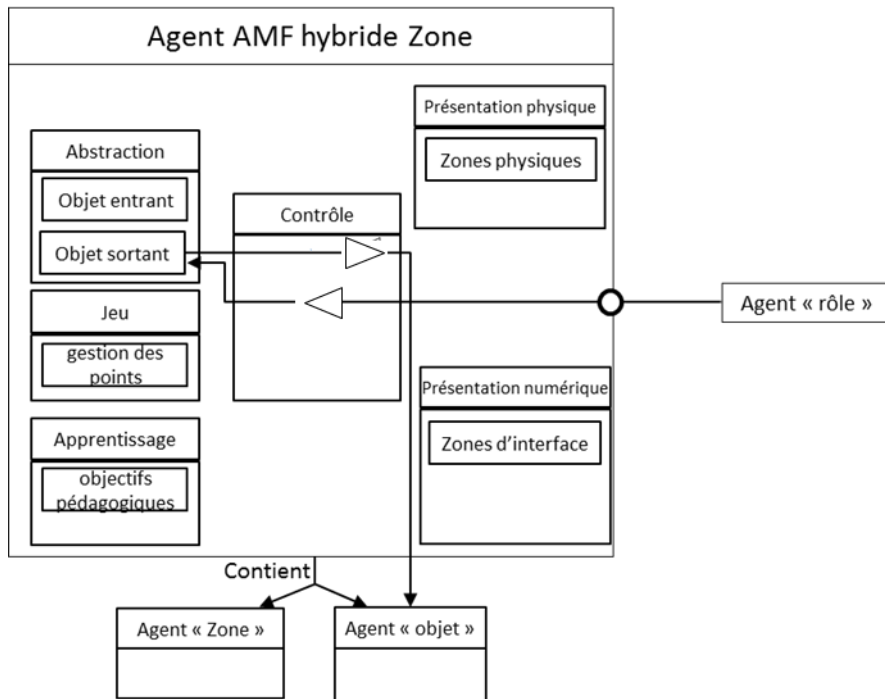


Figure 184 : Modélisation d'un agent « Zone » en AMF –C

L'exemple que nous présentons en Figure 184 est le cas d'un déplacement d'une entité d'une zone à une autre par l'utilisateur. Celui-ci, grâce à une technique d'interaction, réalise l'opération de déplacement, ce qui se traduit au niveau de l'agent « zone » cible comme une opération d'ajout dans un l'agent « zone » d'origine comme une opération de suppression de l'objet au sein de cette zone.

Des points peuvent être associés avec le déplacement d'entités dans la zone (par exemple d'une balle dans les cages d'un but). Des connaissances peuvent être validées par exemple dans le cas de rapprochement d'un concept avec un exemple ou une entité physique (détection par le fait que les deux entités soient dans la même zone).

VI.2.2.5 Agent « rôle »

Nous proposons l'utilisation d'agent « rôle » (Figure 185) pour concrétiser la présence de l'utilisateur dans le système. Cet agent possède des habilités d'actions (opérations) concrétisées dans la présentation par des techniques d'interaction. Celui-ci peut agir sur les autres agents présents dans la zone logique où il est présent.

Dans certains cas, l'agent rôle peut avoir un avatar. Cet avatar est concrétisé à la fois par une entité logique présente dans la zone (pouvant par exemple se déplacer dans cette zone et agir avec certains des artefacts présents) et amener à une présentation aux différents utilisateurs du jeu.

Grâce à la couche « présentation physique », l'utilisateur peut réaliser des gestes sémantisés qui actionnent des opérations.

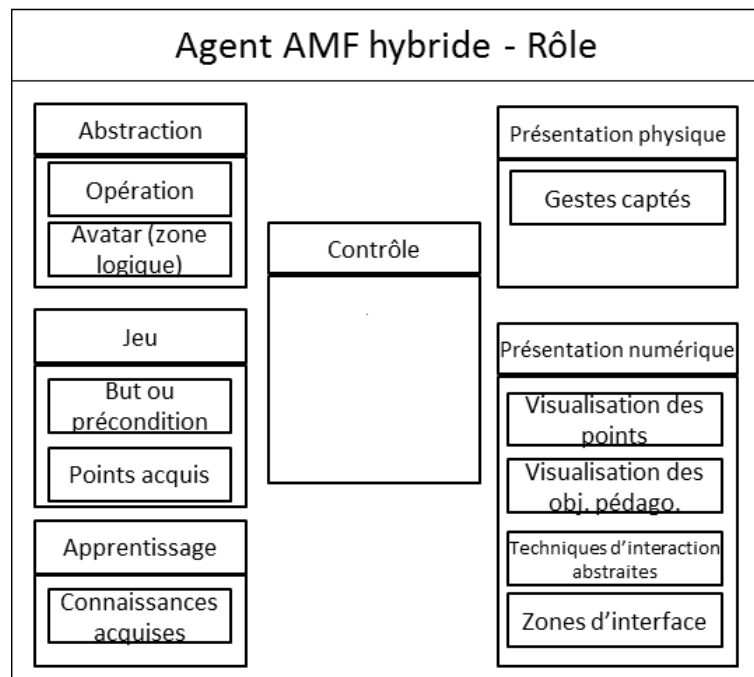


Figure 185 : Agent Rôle

VI.2.2.6 Agent « JPCS »

Tarpin-Bernard (Tarpin-Bernard, 1997) propose d'utiliser un agent « application » comme agent maître des autres agents. Nous proposons ici une spécialisation de cet agent unique afin de décrire le comportement global de du JPCS.

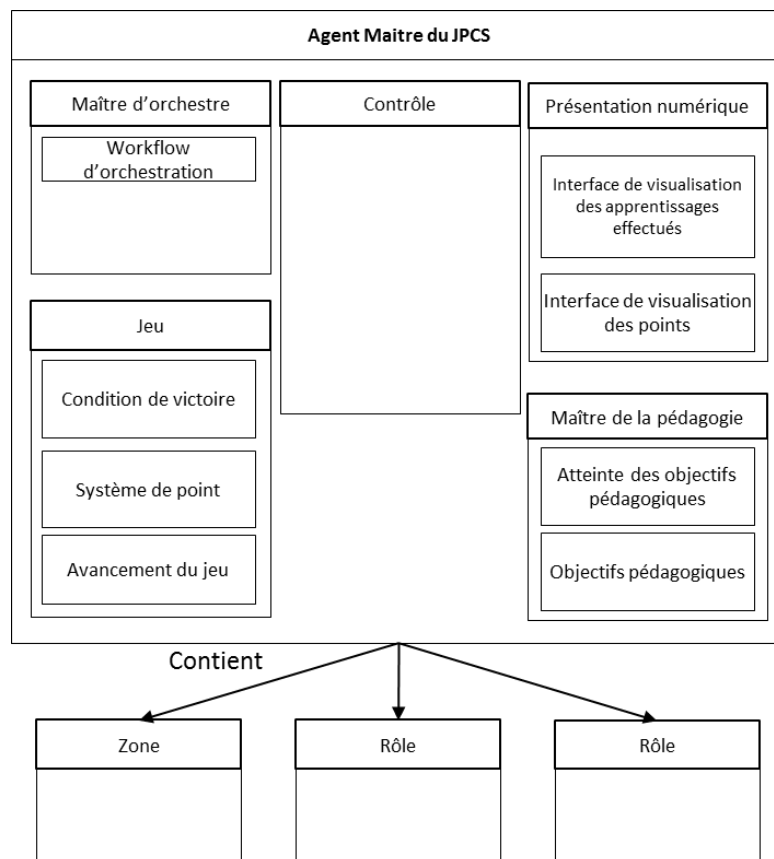


Figure 186 : Modèle d'agent du JPCS

L'agent du JPCS contient six facettes distinctes (Figure 186) :

- Le maître d'orchestre ;
- La facette jeu ;
- La facette pédagogie ;
- La facette contrôle ;
- La facette de présentation

Cet agent « JPCS » contient aussi comme agent fils l'environnement du jeu (à partir d'une zone maître) et l'ensemble des rôles utilisés.

La facette du **maître d'orchestre** propose un workflow des activités collaboratives. Cette facette spécifie l'ordonnancement temporel et collaboratif des actions réalisées par les utilisateurs. Le workflow des activités collaboratives est basé sur un ensemble d'étapes à parcourir (type réseau de Petri). Le maître d'orchestre a plusieurs rôles :

- à chaque début d'étape du workflow, il permet la définition des rôles et la mise en place de l'environnement mixte incluant les interfaces utilisateurs ;
- pendant la réalisation du jeu, les techniques d'interaction faites par les différents utilisateurs permettent de modifier les entités interactives ;
- à la fin d'une étape de jeu (et donc par exemple un autre utilisateur qui doit réaliser sa part de l'activité), le workflow (la partie associée à l'ordonnancement et l'orchestration) connaît l'état d'avancement de chacun des acteurs.

Le composant jeu fait le lien entre points gagnés, conditions de fin de phases, et les conditions de victoire (but de jeu) des joueurs dans chacune de ces phases.

La facette **pédagogie** récupère les objectifs pédagogiques atteints dans les différentes entités du JPCS. De cette manière, l'agent JPCS connaît l'état d'avancement des différents acteurs à la fois vis-à-vis des objectifs pédagogiques et des objectifs ludiques.

La facette de **présentation** permet aussi de supporter les menus de jeu, d'avoir un tableau de bord permettant de connaître l'avancement du jeu (en fonction des buts atteints et des buts du jeu atteints) et l'avancement des objectifs pédagogiques.

Le moteur du JPCS est garant de l'intégrité du noyau fonctionnel du jeu selon l'axe temporel. Il coordonne les interventions des joueurs et sollicite les opérations associées dans le contexte du modèle comportemental. Il a pour rôle d'assurer l'ordonnancement des activités des acteurs en conformité du style de jeu choisi. Le moteur de jeu est responsable de l'évolution de l'environnement de jeu et de l'agencement des aspects multi-joueurs du jeu. Il coordonne ainsi les interventions des acteurs entre eux et avec l'environnement de jeu.

Les cinq styles de base d'ordonnancement sont :

- **Séquentiel imposé**, lorsque l'avancement du tour est défini par la fin du tour précédent. (jeu d'échec par exemple) ;
- **Parallèle sans contrainte**, quand chaque joueur peut jouer à sa propre instance du jeu (jeu mono joueur en ligne par exemple) ;
- **Parallèle avec synchronisation par temps long**, lorsque le comportement des joueurs est conditionné par des jalons définis temporellement ;
- **Parallèle avec synchronisation par les données**, lorsque le comportement des joueurs est conditionné par des données partagées/actions des autres (Lea(r)NIT, exemple proposé en Chapitre VII ; par exemple) ;
- **Parallèle avec synchronisation temps-réel**, avec une synchronisation intégrale du monde à

chaque unité temporelle élémentaire (jeux de stratégie temps-réel par exemple).

Comme nous l'avons suggéré dans le §V.1.3.1 (L'espace-temps), nous proposons d'utiliser une gestion de la dynamique séparant les aspects en rapport avec les acteurs du jeu et ceux en rapport avec l'environnement de jeu. Ainsi, certaines modifications de l'environnement peuvent être réalisées en temps réel alors que d'autres prennent plus de temps.

Ainsi, nous distinguons deux dynamicités qui coexistent, en conformité avec le style de jeu :

- au niveau de la temporalité de l'environnement de jeu afin d'assurer la réalisation des évolutions de l'environnement ;
- au niveau de la temporalité des actions réalisées par les joueurs afin d'assurer l'ordonnement des activités des acteurs.

La distinction entre acteurs du jeu et environnement de jeu permet de réaliser une désynchronisation entre acteurs et environnement. Ainsi, l'environnement peut évoluer en temps réel, avec des restrictions faites sur les acteurs.

- **Séquentiel** : chaque joueur peut effectuer des actions uniquement lorsque c'est à son tour de jouer, sinon il attend son tour. Un processus mono-tâche assure la séquence de jeu, met le noyau fonctionnel du jeu à jour et notifie les différents acteurs suite à chaque action ;
- **Parallèle sans contrainte** : les acteurs effectuent des travaux indépendamment des autres acteurs et possèdent une vue personnelle (indépendante des autres acteurs). Un mécanisme de file d'accès des acteurs à l'environnement est nécessaire pour en garantir l'intégrité. Nous pouvons citer dans les exemples de jeu la résolution de problème mathématique, examen, jeu solo en ligne...
- **Parallèle avec synchronisation par les données** : chaque acteur et outil du JPCS possède une file d'entrées pour réaliser des actions. Lorsque des opérations sont effectuées par les acteurs sur certains objets au travers des outils, l'environnement est directement impacté ce qui permet la synchronisation du système. Pour les autres actions réalisées, seule la vue locale est modifiée jusqu'à la synchronisation. Il s'agit du mode de fonctionnement utilisé dans Lea(r)nIT présenté en Chapitre VII ;
- **Parallèle avec synchronisation par temps long** : le comportement des joueurs est conditionné par des jalons temporels. Les actions réalisées parallèlement sont autonomes jusqu'à que les résultats soit réconciliés par le noyau fonctionnel puis redistribué aux acteurs. Une horloge est responsable de la gestion des intervalles. Elle permet de déclencher les phases de jeu, et au temps défini, de demander à un répartiteur de mettre à jour les travaux et vues des autres acteurs.

VI.2.2.7 Synthèse des agents

Nous avons proposé cinq types d'agents (et un agent générique) qui permettent de décrire les différentes particularités du JPCS.

Afin de proposer une vue d'ensemble, nous proposons de modéliser un agent AMF hybride sous une forme de « chromosome » représentant dans l'axe vertical les différentes couches de l'agent.

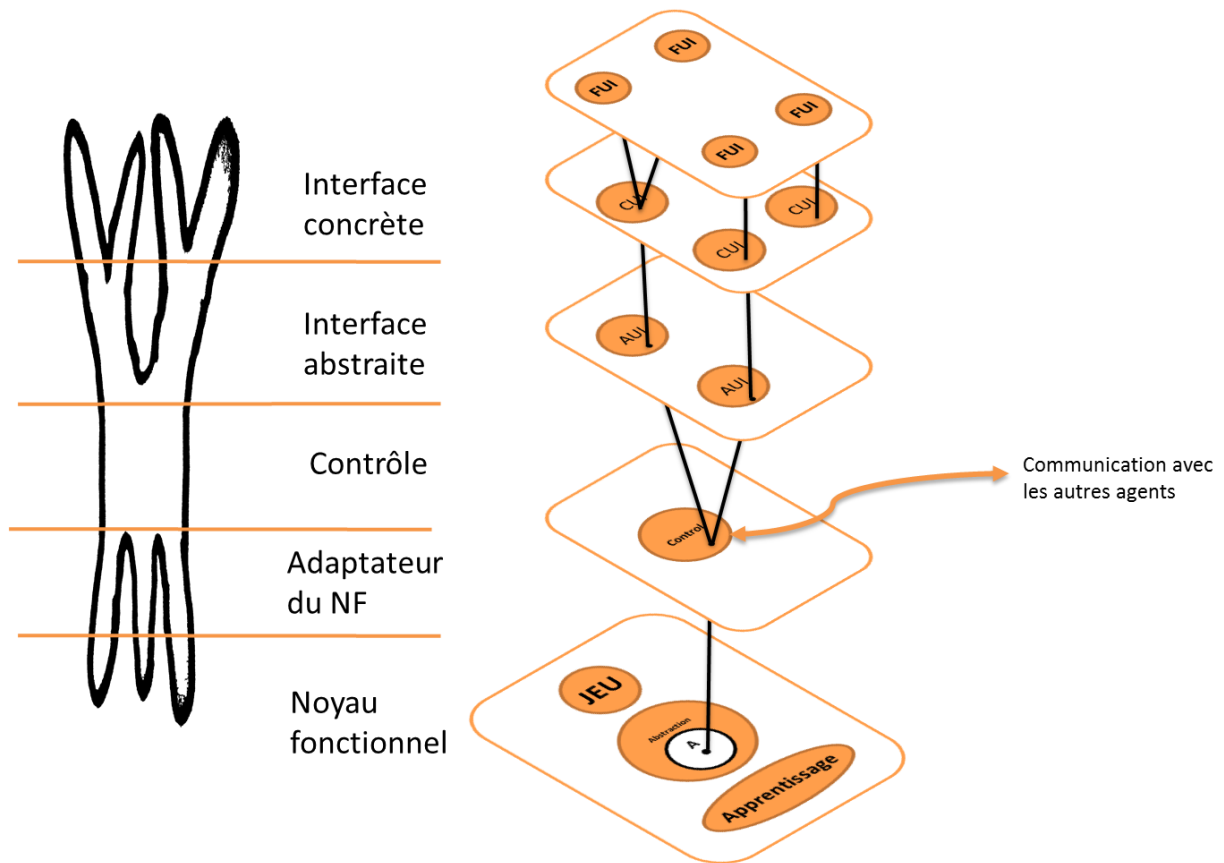


Figure 187 : Vision « chromosomique » (à gauche) et classique (à droite) d'un agent

Pour exemple, un agent générique possède trois facettes abstraites (Abstraction, Pédagogie et Jeu), une facette de contrôle et deux facettes de présentation (une physique et une numérique), encore décomposable selon les différentes possibilités d'interface concrètes proposées (par exemple en imaginant qu'un objet est représenté à l'utilisateur par une interface tangible sur un poste, et purement numériquement sur un second).

En utilisant cette vision des agents hybrides entre les couches, nous pouvons proposer sur un même schéma l'ensemble des différents agents.

Cette visualisation permet de faire le lien entre les différents agents dans les différentes couches du JPCS. L'agent JPCS est l'agent applicatif unique, qui fait la liaison avec les rôles et avec les zones à partir de son contrôle (toute relation avec un autre agent se fait à partir du contrôle). Les zones contiennent les objets et les outils du JPCS. Les relations qui sont faites entre ces différentes entités le sont au niveau du contrôle du jeu.

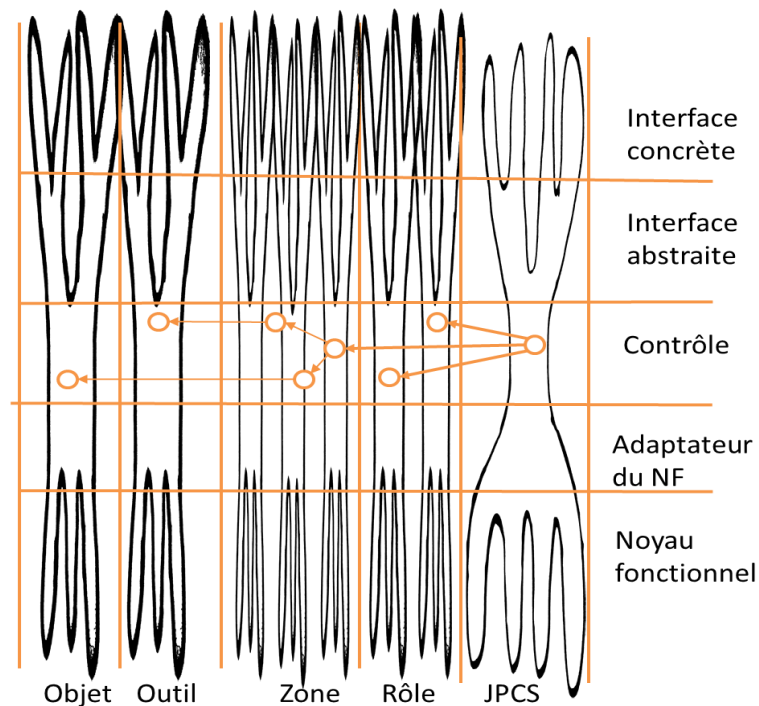


Figure 188 : Modèle d'architecture générique de JPCS structuré en agents et en couches en « chromosome »

VI.3 Notre méthode de conception de JPCS

VI.3.1 Méthode CocSys comme point de départ

La production de système collaboratif mobile tenant compte des contextes est un travail complexe. Pour l'organiser et pour rapprocher les développeurs et les utilisateurs, une méthode, appelée CoSys (COoperative Capillary SYStem), a été proposée par (Delotte, 2006).

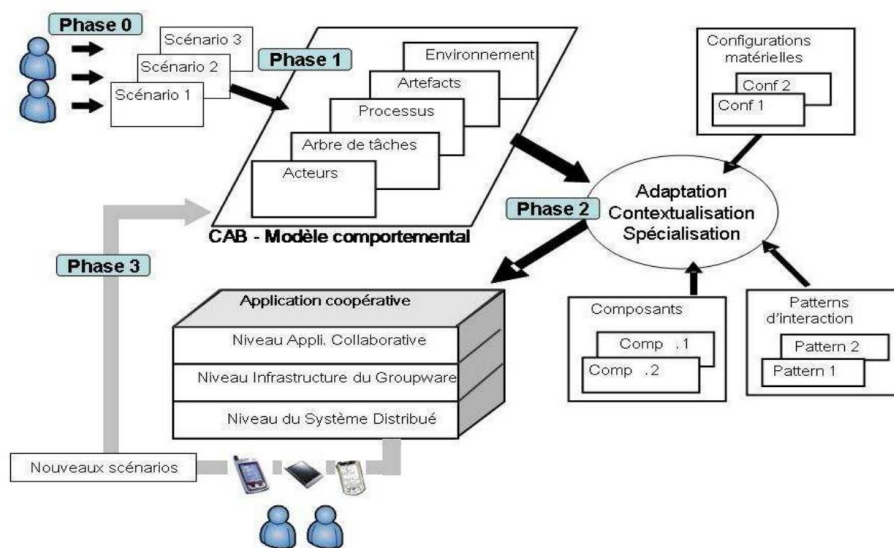


Figure 189 : Processus Cosys (Delotte, 2006)

La méthode se décompose en trois phases (Figure 189) :

- élaboration de scénarios ;
- élaboration du modèle comportemental ;
- injection du modèle comportemental dans l'architecture logicielle ;

Ces trois phases sont dédiées plus précisément comme :

Phase 0 : Élaboration des scénarios : des scénarios sont réalisés à partir d'entretiens avec des utilisateurs. Ces scénarios explicitent des tâches spécifiques ou des activités d'utilisateurs particuliers. Les scénarios sont modélisés selon une approche descriptive et permettent la formalisation de l'activité (Figure 190).

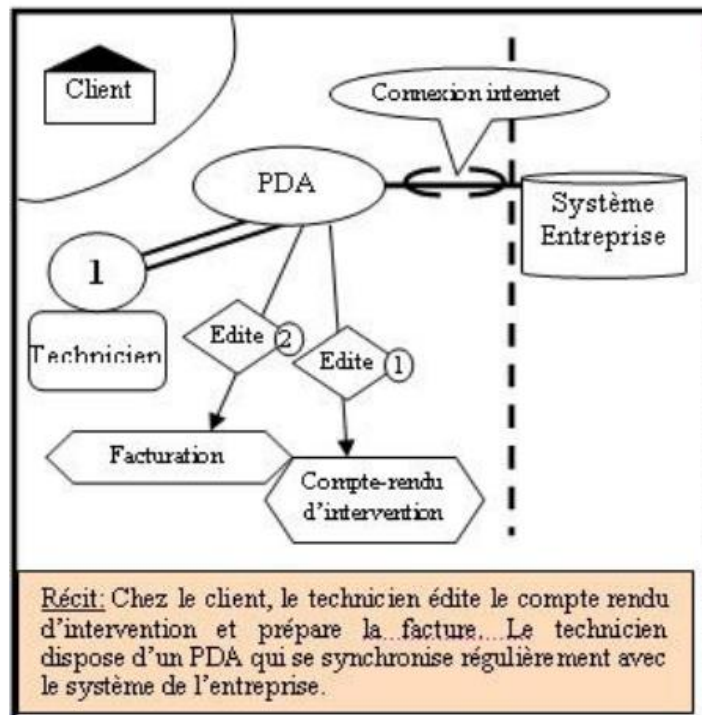


Figure 190 : Exemple d'un scénario contextualisé

Phase 1 - Élaboration du modèle comportemental : le modèle comportemental caractérise les comportements de l'application collaborative. Ce modèle intègre les acteurs, les artefacts, les tâches et les contextes pris en compte par l'application. Les scénarios sont étudiés pour extraire les caractéristiques des différents modèles, déterminer les tâches des différents acteurs, déterminer les contraintes fonctionnelles et temporelles (Figure 191).

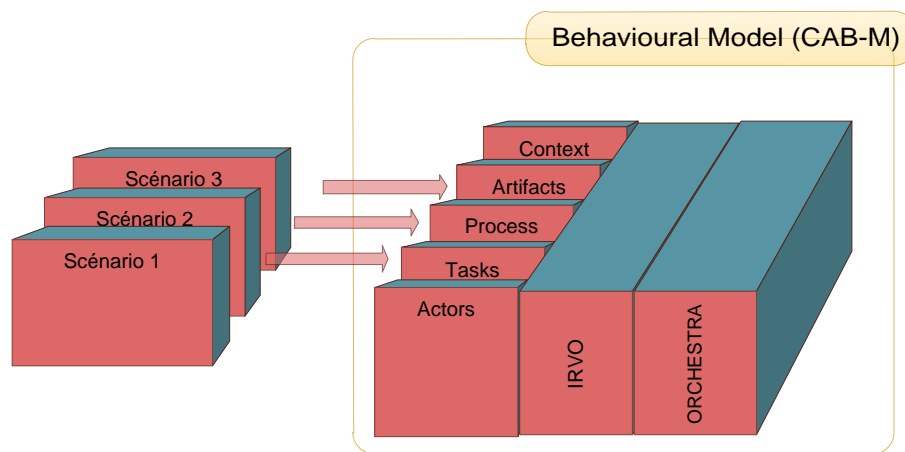


Figure 191 : Du scénario au modèle comportemental

Phase 2 - Projection du modèle comportemental sur l'architecture collaborative. À partir du modèle comportemental, une transformation (au sens MDA) basée sur des modèles de plateforme matérielle, des patterns d'interactions et des composants permet l'instanciation et la spécialisation d'une architecture adaptée à la plateforme d'application coopérative. Cette architecture est structurée en trois niveaux (Figure 192) :

- **Le niveau de système distribué** (modèle DSI : Distributed System Infrastructure) est en charge de la distribution des messages et de la gestion du contrôle du contenu ;
- **Le niveau intermédiaire** (modèle CSA : Collaborative System Architecture) est un niveau générique entre l'application et le système distribué. Il contient les éléments communs de l'activité du groupe et peut être vu comme un « système d'exploitation » dédié aux collecticiels. Il supporte le travail collaboratif en contrôlant les sessions, les utilisateurs et les groupes, fournit des outils coopératifs génériques et est responsable de la gestion de la concurrence ;
- **Le niveau de l'application collaborative** (modèle CUO : Collaboration User-Oriented) utilise les services du niveau intermédiaire. Ce niveau regroupe les éléments spécifiques à l'application développée. Il englobe notamment l'interface utilisateur.

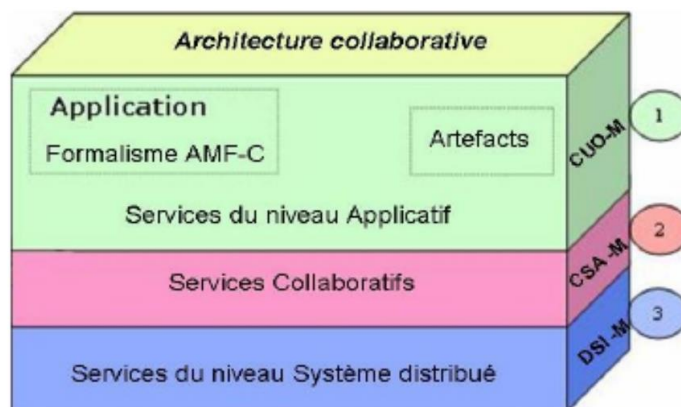


Figure 192 : Architecture du CoCSys (Delotte, 2006)

Phase3 - Évolution des scénarios : Cette phase vise, à partir d'expérience lié à l'utilisation de l'application (que ce soit un contexte se modifiant ou de nouveaux usages imaginés), à proposer de nouveaux scénarios d'utilisation pour faire évoluer le modèle comportemental.

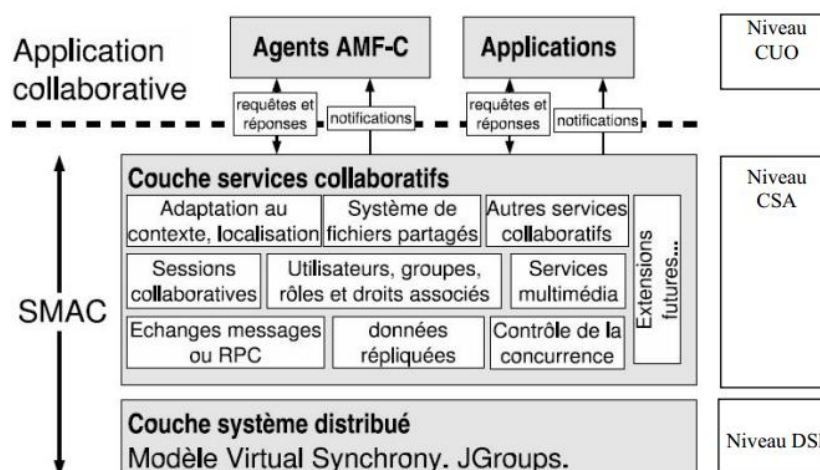


Figure 193 : Architecture SMAC dans les systèmes collaboratifs

Imbert (Imbert, 2006) a proposé une adaptation de cette architecture de manière à être supportée par un cadre de conception (Framework) appelé SMAC (Figure 193).

Cette adaptation permet de mieux exprimer les relations entre le niveau CUO et les niveaux inférieurs, et permet d'être indépendant des aspects techniques au niveau fonctionnel.

La méthode de conception CoCSys nous permet d'envisager une manière d'intégrer des caractéristiques fonctionnelles dans une application à travers l'utilisation d'un modèle comportemental. Nous allons donc poursuivre cette démarche et l'adapter aux spécificités des JPCS.

Nous regrettons dans cette méthode un manque de précision concernant la prise en compte des modèles comportementaux dans l'application. Un de nos objectifs est donc de clarifier cet aspect dans la proposition d'une nouvelle méthode.

En synthèse, la méthode CoCSys est pour nous une source d'inspiration importante pour proposer une transition entre des besoins formulés par des non-experts informatiques en fonctionnalités. Cependant, les besoins du domaine du jeu étant différents, nous avons proposé des évolutions pour correspondre au milieu.

Nous constatons comme principale différence que la conception d'application basée sur des modèles de scénario et l'activité basée sur des règles de jeu régissant l'activité n'est pas du tout la même. Dans les jeux, l'activité est par nature libre et l'un des buts est d'avoir un grand nombre de possibilités d'actions. Ce choix constitue un des principaux éléments motivant les joueurs et seuls les objectifs et les actions possibles sont réellement prédéterminés. Aussi, les concepteurs d'un jeu utilisent régulièrement les « buts », « règles » et « actions » de jeu comme moyens de le caractériser. Ces spécificités n'imposent pas forcément de sortir du concept de scénario, mais dirigent la description de l'activité en attribuant moins d'importance à la temporalité des actions réalisées et plus aux buts et aux règles. Si CoCSys se base sur les méthodes de l'ingénierie des modèles, avec transformations successives pour permettre l'exécution du logiciel, nous n'avons pas opté pour cette méthode, car nous pensons qu'il est possible en utilisant certaines architectures spécifiques de supprimer au maximum la transformation des besoins.

VI.3.2 Présentation générale

La méthode de conception que nous proposons se focalise sur la prise en compte des aspects fonctionnels. Les quatre étapes sont (Figure 194) :

1. à partir du cahier des charges, structurer les spécifications selon leur type ;
2. modéliser les différents aspects du jeu constituant le modèle de comportement du jeu ;
3. définir à partir de patterns les classes correspondant aux objets modélisés ;
4. projeter les modèles sur l'architecture spécialisée du JPCS.

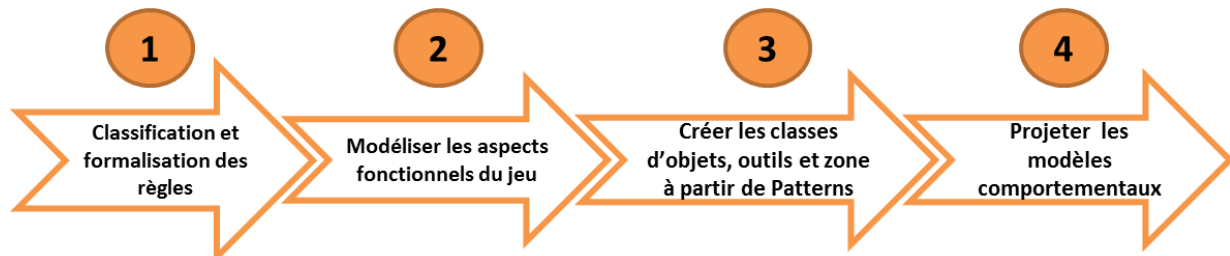


Figure 194 : Les étapes de prise en compte des besoins fonctionnels

Ce processus permet de définir à l'aide d'un langage formel (par l'utilisation de modèles formels) les caractéristiques comportementales de l'activité et sa prise en compte dans l'architecture. Nous allons maintenant détailler chacune de ces étapes.

VI.3.3 Classification et formalisation des règles

Nous proposons donc de sélectionner et de structurer les informations proposées par le cahier des charges ou par un livre de règles. Il est nécessaire de séparer les informations de manière à pouvoir positionner chacune d'elles dans l'une de ces catégories (Figure 195) :

- type spatio-temporel ;
- structuration du scénario du jeu ;
- structure de l'environnement de jeu ;
- définition des personnages du jeu ;
- description de comportements des entités de l'environnement ;
- l'état initial de l'environnement ;
- les conditions de victoire du jeu ou d'étapes du jeu.



Figure 195 : Les propriétés d'un JPCS

L'ensemble de ces différentes informations doit être collecté par un Game Designer (en charge de la conception du jeu) en collaboration avec un expert technique fonctionnel (en charge de la formalisation de l'information proposée). L'ensemble de ces informations permet de classer les différentes informations nécessaires à la conception du jeu par l'utilisation des différents modèles que nous proposons.

VI.3.4 Modéliser les aspects fonctionnels du jeu

Les six modèles que nous proposons au §VI.1 sont garnis par les caractéristiques qui viennent d'être classées et uniformisées.

Nous proposons un ordre pour faciliter la construction de ces modèles :

1. le scénario ;
2. les buts du jeu ;
3. les règles du jeu ;
4. la structure de l'environnement ;
5. la description de l'état initial de l'environnement de jeu ;
6. la description des interactions concrètes.

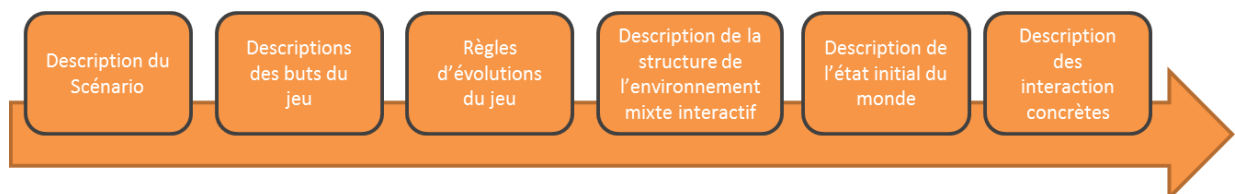


Figure 196 : Différentes étapes de la modélisation

VI.3.5 Définir les comportements des entités du jeu

Nous avons définis trois types d'entités interactives pouvant être utilisées dans un JPCS :

- Les objets, passifs et objets d'opérations ;

- Les outils, actifs et déclencheurs d'opérations sur les objets, les autres outils et avatars ;
- Les avatars, actifs et déclencheurs d'opérations sur les objets, les outils et les autres avatars. Les avatars étant les représentants de l'utilisateur dans l'environnement de jeu.

Les opérations s'effectuent entre deux entités, une active (un outil ou un avatar) et l'autre passive (éventuellement plusieurs). Nous avons identifié six types d'opérations (Tableau 7) :

- opération de création ;
- opération de déplacement ;
- opération de modification ;
- opération de suppression ;
- opération de fusion ;
- opération d'éclatement.

En fonction de cette caractérisation, nous pouvons spécifier les entités du jeu.

Types d'opération	Action réalisée
Modification	A devient B
Suppression	A disparaît
Création	A est créé
Fusion	(A ₁ ... A _n) se fusionnent en B
Éclatement	À s'éclate en (B ₁ ... B _n)
Déplacement	A est déplacé de ZL1 à ZL2

Tableau 7 : Les différents types d'opérations

Du point de vue informatique, ces entités sont des agents réactifs.

```

<!-- Root element of any world element (but NOT properties) -->
<gameObject>
  <fields>
    <field>
      <name>id</name>
      <type>Integer</type>
      <description>UID</description>
    </field>
    <field>
      <name>description</name>
      <type>String</type>
      <description>Description</description>
    </field>
    <field>
      <name>objectType</name>
      <type>integer</type>
      <description>Type of game object</description>
    </field>
    <field>
      <name>name</name>
      <type>String</type>
      <description>name of game object for easier reading</description>
    </field>
    <field>
      <name>isLeaf</name>
      <type>boolean</type>
      <description>Determines if this game object can have children or not</description>
    </field>
  </fields>
</gameObject>

```

Figure 197 : Modèle de type d'objet du jeu

Chaque type d'entité du jeu (agent) peut être décrit dans notre formalisme en remplissant le patron de conception : ses caractéristiques et ses actions sur les autres entités (Figure 197).

```

<gameObjectDescription>
  <type>2</type>
  <name>shape</name>
  <isLeaf>true</isLeaf>
  <description>Body shape that comes out from shaper machine
  </description>
  <properties>
    <property>
      <name>shapeType</name>
      <description>Shape number among {0:NONE; 1:TRIANGLE; 2:ROUND;
        3:SQUARE;}
      </description>
      <type>integer</type>
      <value></value>
    </property>
    <property>
      <name>color</name>
      <description>Color number among {0:NONE; 1:BLUE; 2:ORANGE;}
      </description>
      <type>integer</type>
      <value></value>
    </property>
  </properties>
</gameObjectDescription>

```

Figure 198 : Exemple de description des caractéristiques d'un objet

Dans l'exemple présenté en Figure 198, un objet de type « shape » contient deux propriétés : sa forme et sa couleur. Trois possibilités de formes et de couleurs existent (triangle, carré, rond pour les formes, sans couleur, bleu et orange pour les couleurs) et sont formalisées par un nombre entier entre 0 et 2.

```

<toolDescription>
  <type>103</type>
  <name>changeShapeMould</name>
  <toolClass>TOOL_TRANSFORM</toolClass>
  <description>Changes shape mould property</description>
  <arguments>
    <argument>
      <name>shapeMouldArgument</name>
      <description>Shape mould number among {0:NONE; 1:TRIANGLE; 2:ROUND;
        3:SQUARE;}
      </description>
      <type>integer</type>
      <value></value>
    </argument>
  </arguments>
  <targets>
    <tool>
      <type>100</type> <!-- shape creator -->
      <properties>
        <property>
          <name>shapeMould</name>
          <description>Shape mould number among {0:NONE; 1:TRIANGLE;
            2:ROUND; 3:SQUARE;}
          </description>
          <type>integer</type>
          <value>
            <value-of>this.arguments.argument.shapeMouldArgument.value
            </value-of>
          </value>
        </property>
      </properties>
    </tool>
  </targets>
  <results></results>
</toolDescription>
<toolDescription>

```

Figure 199 : Exemple de description d'un type d'outil

Dans l'exemple présenté en Figure 199, nous décrivons un outil de type « modification » qui a pour rôle de modifier l'état d'un autre agent (qui dans le cas présent est aussi un outil). Cet outil, permet la modification de la forme des moules créés par un mouleur.

Dans l'exemple proposé en Figure 200, nous décrivons un outil de type « Fusion ». La description du comportement de cet outil est faite en relation avec notre formalisme permet de créer un groupe d'objets à partir d'objets de type 2 et de type 3.

```

<toolDescription>
  <type>104</type>
  <name>gluCreator</name>
  <toolClass>TOOL_FUSION</toolClass>
  <description>Puts glu on the body</description>
  <properties></properties>
  <arguments></arguments>
  <targets>
    <gameObject>
      <type>3</type><!-- glu -->
    </gameObject>
    <gameObject>
      <type>2</type><!-- body shape -->
    </gameObject>
  </targets>
  <results>
    <group>
      <type>104</type><!-- Operation made on group -->
      <gameObject>
        <type>2</type><!-- body shape -->
      </gameObject>
      <gameObject>
        <type>3</type> <!-- Glu -->
      </gameObject>
    </group>
  </results>

```

Figure 200 : Formalisme pour décrire un outil de type « fusion »

Une fois les différents modèles réalisés, nous avons pu constater dans notre cas d'application Lea(r)nIT, un manque de finesse de description de certains aspects du jeu pour en permettre le fonctionnement. Il était alors nécessaire d'ajouter à minima ces caractéristiques nécessaires pour son utilisation :

- la taille des différents objets ;
- le type de représentation (image, texte, modèle 3D) ;
- les fichiers sources associés.

```

<numericalZonesToLogicalZones>
  <numericalZone>
    <name>ZNass</name>
    <finalUI><![CDATA[
      <pxWidth>1024</pxWidth>
      <pxHeight>768</pxHeight>
      <bgAssetFile>bg_atelier_2.png</bgAssetFile>
    ]]></finalUI>
    <name>Z_ass_process</name>
    <finalUI><![CDATA[
      <pcX>24</pcX>
      <pcY>0</pcY>
      <pcWidth>52</pcWidth>
      <pcHeight>66</pcHeight>
      <bgAssetFile></bgAssetFile>
      <properties>
        <property>
          <name>itemsDisplayMode</name>
          <type>String</type>
          <value>loose</value>
        </property>
      </properties>
    ]]></finalUI>
  </numericalZone>
</numericalZonesToLogicalZones>

```

Figure 201 : Spécification des caractéristiques d'une zone d'interface

Dès qu'un besoin de ce type est présent, il est possible d'ajouter des informations à la description de chaque objet et ainsi faciliter l'instanciation des différents éléments interactifs du jeu.

Dans l'exemple proposé en Figure 201, nous décrivons les caractéristiques de la présentation d'une zone d'interface. Nous spécifions ainsi sa dimension, sa position, les objets sources utilisés. Pour déterminer précisément la présentation des objets présents, nous utilisons aussi des fichiers de description permettant de renseigner le type de représentation (image, dessin vectoriel, animation flash, vidéo), ainsi que certaines des propriétés de fonctionnement de ces objets de présentation.

```

<gameObject>
  <objectType>1</objectType>
  <name>granulat</name>
  <assetFile>airplane.png</assetFile>
  <symbolID></symbolID>
  <fuiType>bar</fuiType>
  <barPropertyName>quantity</barPropertyName>
</gameObject>

```

Figure 202 : Description de la présentation finale de l'objet granulat

Dans cet exemple (Figure 202), les objets de types 1 (des granulats) utilisent une image (nommée « granulat.jpg ») comme base de leur présentation, modifiable en fonction de la propriété « quantity », représentant le nombre de « granulats », ici sous forme d'une jauge (Figure 203). De cette manière, nous décrivons plus précisément la manière dont nous présentons les objets interactifs de jeu aux utilisateurs.



Figure 203 : Représentation d'une mesure de quantité (jauge)

VI.3.6 Projeter les modèles sur l'architecture

Dans certains processus de conception, le passage de l'étape de formalisation en modèle à celui de la projection dans l'architecture implique une transformation des modèles utilisés. Dans notre cas, les formalismes que nous proposons sont conçus pour être utilisés directement dans l'architecture, dirigés par le moteur de jeu, et sont orientés vers la construction d'agent du jeu. Les différents modèles décrits-ci-après garnissent l'architecture.

VI.3.6.1 Modèle d'orchestration

Le **modèle d'orchestration ORCHESTRA-JPCS** a deux rôles principaux dans la structuration de l'application :

- définir le workflow de l'activité de l'Agent JPCS ;
- définir les différents rôles qui vont être utilisés, leurs objectifs, les opérations qui peuvent être utilisées pour atteindre ces objectifs et l'environnement dans lequel ils vont être ;

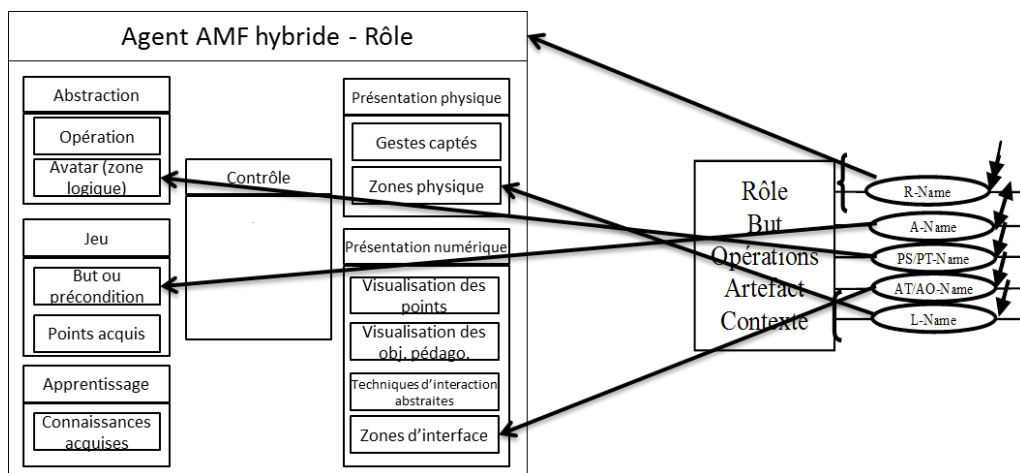


Figure 204 : Correspondance entre ORCHESTRA-JPCS et les agents rôles

VI.3.6.2 Modèle de tâche

Les **modèles de tâches CTT** permettent de définir la relation entre les actions possibles des différents rôles et les opérations faites sur les objets et les entités présentes.

Leur intégration dans l'architecture se fait comme proposée par Tarpin-Bernard (Tarpin-Bernard, 1997) qui corrèle les tâches d'interaction et la présentation des objets de l'application. Nous devons cependant ajouter des correspondances avec les agents rôles pour l'ensemble des tâches interactives : une technique d'interaction concrète d'un utilisateur sera mise dans la facette de présentation (physique ou numérique) de l'utilisateur, qui sera elle-même reliée à une facette d'abstraction pour faire le lien avec l'objet (ou l'outil) manipulé.

Une tâche interactive sur un arbre de tâches aura donc l'effet :

- au niveau de la facette présentation de l'agent rôle, pour décrire la technique d'interaction concrète réalisée ;
- au niveau de la facette abstraite de l'agent, comme moyen de vérifier les droits d'accès à l'objet par l'utilisateur ;
- au niveau de la facette abstraite de l'objet, comme moyen de manipuler ses propriétés ;
- au niveau de la facette présentation de l'objet, comme moyen de présenter à l'utilisateur la possibilité d'action (avant qu'elle soit réalisée) et comme retour sur l'action.

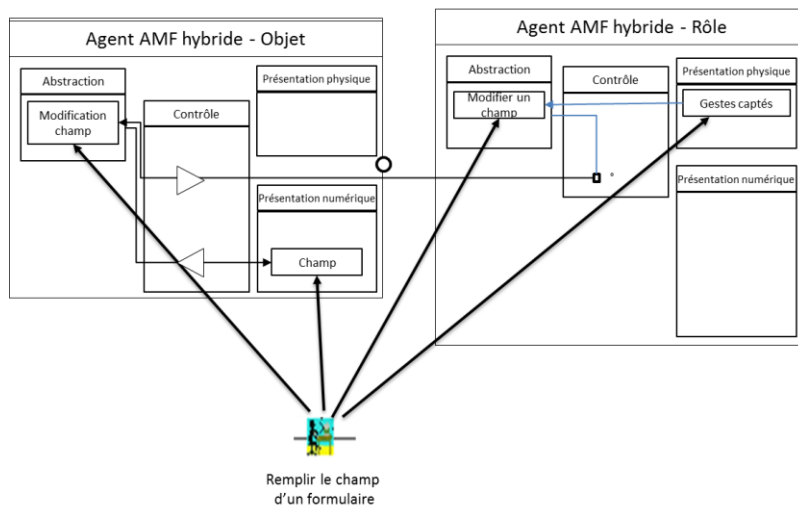


Figure 205 : Implication du modèle de tâche dans AMF

VI.3.6.3 Modèle de déploiement de l'environnement mixte interactif

Le **modèle de déploiement de l'environnement IME-DEMO** permet à la fois de structurer spatialement l'environnement logique de jeu (les différentes zones logiques existantes et les relations entre celles-ci) ainsi que la disposition des différentes entités de jeu dans les interfaces utilisateurs. Concernant le modèle d'environnement, nous proposons l'association entre les facettes de présentation réelle d'un agent zone et la zone physique. La zone logique sera associée à la partie numérique de la présentation (Figure 206).

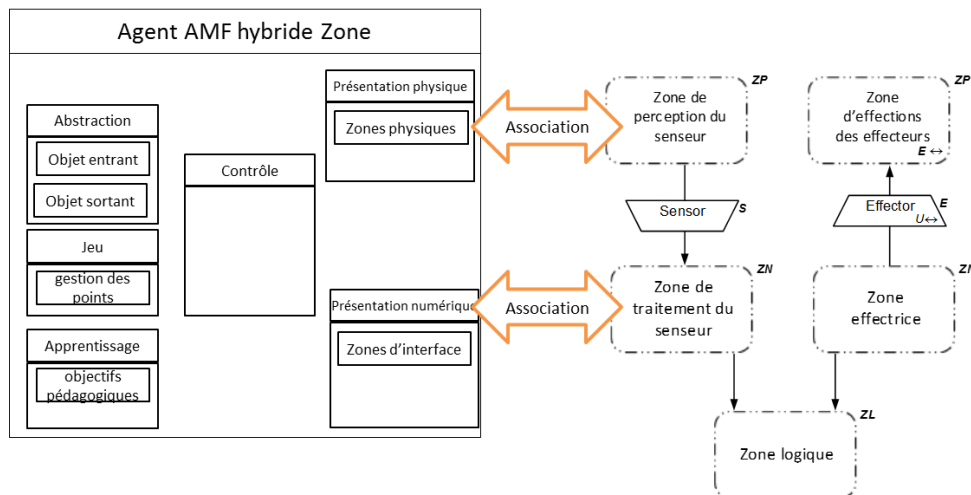


Figure 206 : Correspondance entre IME-DeMo et AMF-C

VI.3.6.4 Modèle de déploiement des objets

Le **modèle de déploiement des objets** qui décrit le déploiement des différentes entités du jeu (objet et outil) dans les différentes zones logiques et les propriétés sont définies avec les valeurs qu'elles auront à l'initialisation du jeu. De cette manière, il permet la création des objets et de ces propriétés dans les zones associées.

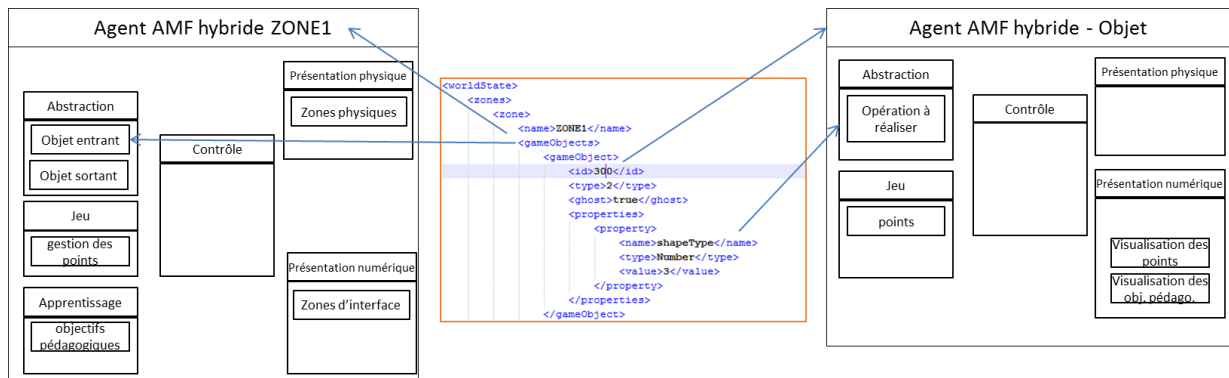


Figure 207 : Corrélation entre modèle de déploiement des objets et Agent Zone et Objet

VI.3.6.5 Modèle des objectifs du JPCS

Le **modèle des objectifs du JPCS** permet de définir les différents objectifs ludiques du jeu, les conditions de victoire et la manière dont les points sont marqués, ces éléments étant ensuite injectés dans les différentes facettes des agents associés.

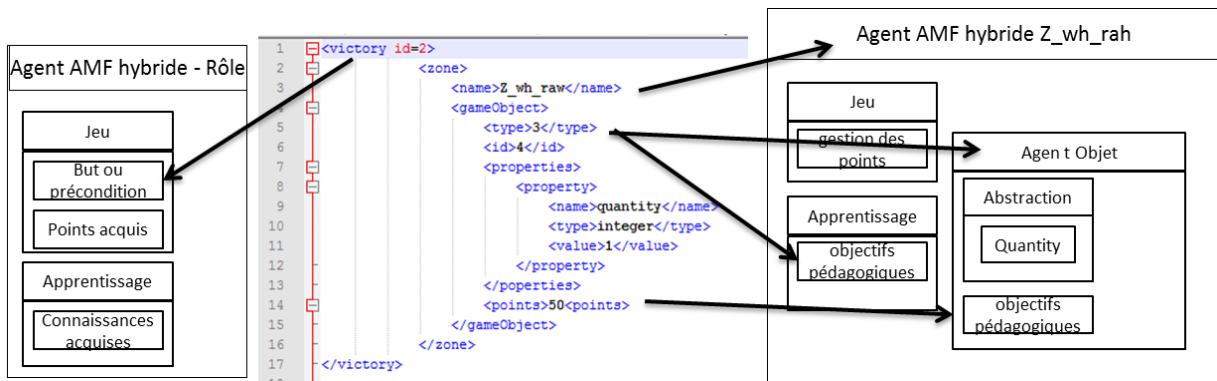


Figure 208 : Corrélation entre modèle des objectifs du JPCS et agent du JPCS

La réalisation d'activités dans les JPCS est à la fois dirigée par le jeu, mais est aussi liée à l'apprentissage. Les JPCS que nous proposons sont à intégrer dans une formation plus globale, comprenant des phases de pur apprentissage et des phases de jeu. L'apprentissage classique est réalisé en classe selon une méthode magistrale et le jeu permet de motiver les apprenants et de consolider leurs connaissances théoriques.

Ces phases de consolidation sont réalisées par des activités qui intègrent des objectifs pédagogiques. Ces objectifs sont intégrés au jeu, en suivant la logique d'intégration intrinsèque des connaissances. L'intégration du contenu pédagogique dans les éléments ludiques peut se faire ainsi (Figure 158) :

- un savoir-faire à apprendre peut définir l'objectif d'un JPCS ;
- une procédure à apprendre peut structurer les tâches (abstraites) à réaliser dans le JPCS ;
- un fait à apprendre peut être perceptible dans les propriétés d'entités du jeu ;
- une règle à apprendre est utilisée par les apprenants et/ou constitue un fonctionnement clé d'un des éléments du jeu ;
- un geste professionnel à intégrer est exécuté par l'apprenant via une technique d'interaction concrète dans le JPCS.

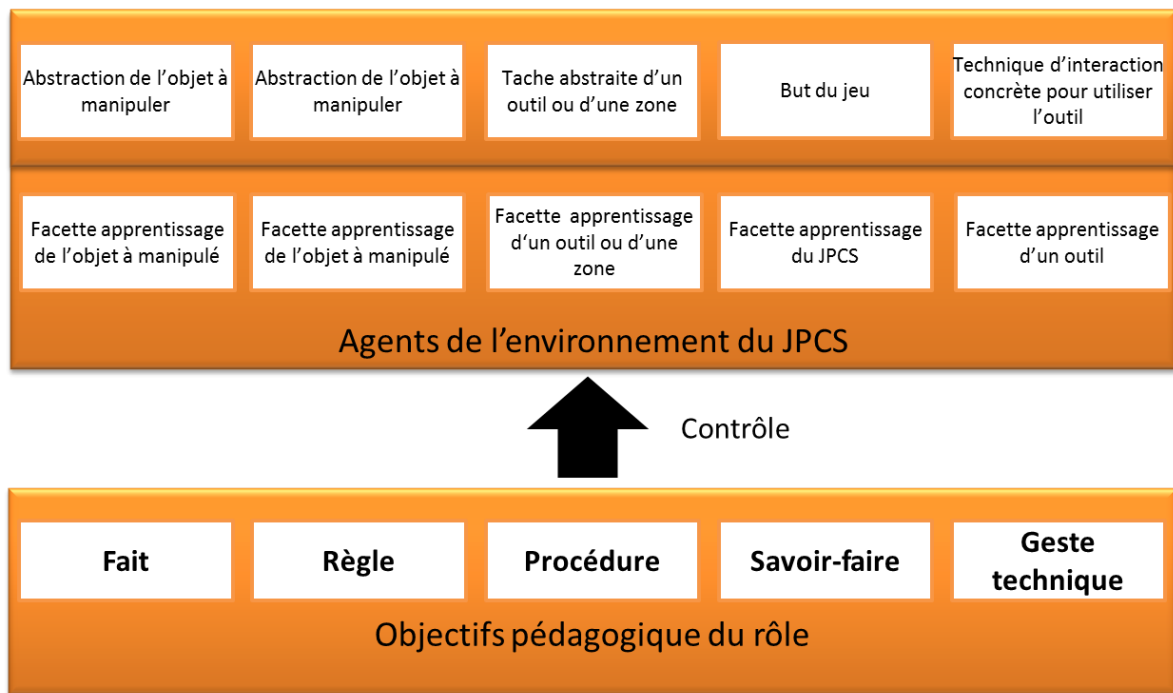


Figure 209 : Corrélation entre types d'apprentissages/Objets du jeu

Ainsi, nous intégrons les objectifs pédagogiques dans les différents agents du JPCS ; ces objectifs peuvent ainsi être exploités afin de valider l'apprentissage réalisé par les élèves et réaliser des tableaux de bord afin d'avoir une connaissance globale de l'avancement.

VI.3.6.6 Modèle d'interaction

Le modèle d'interaction IRVO+ précise la description de la présentation de chaque entité, incluant toutes les caractéristiques nécessaires à la construction de son apparence. Les différents modèles de tâches complètent cette description pour connaître quelles entités sont modifiables par les utilisateurs.

Chalon (Chalon, 2004) propose de considérer la facette « présentation » d'un agent AMF-C comme directement associable avec « l'objet numérique ». Il existe cependant un manque à AMF-C pour abriter les propriétés et le comportement physique de la présentation. Pour pallier ce manque, Chalon ajoute une facette « Réel » aux agents AMF-C de manière à prendre en compte l'aspect physique des représentations. Cette facette est donc sémantiquement assimilable à une facette de présentation mais sert d'interface entre le logiciel et la présentation physique de l'objet.

Pour correspondre aux notations actuelles, nous avons modifié les noms des deux facettes de présentation : une facette « Présentation physique » et une facette « Présentation numérique » à la place de « Présentation » et « Réel ».

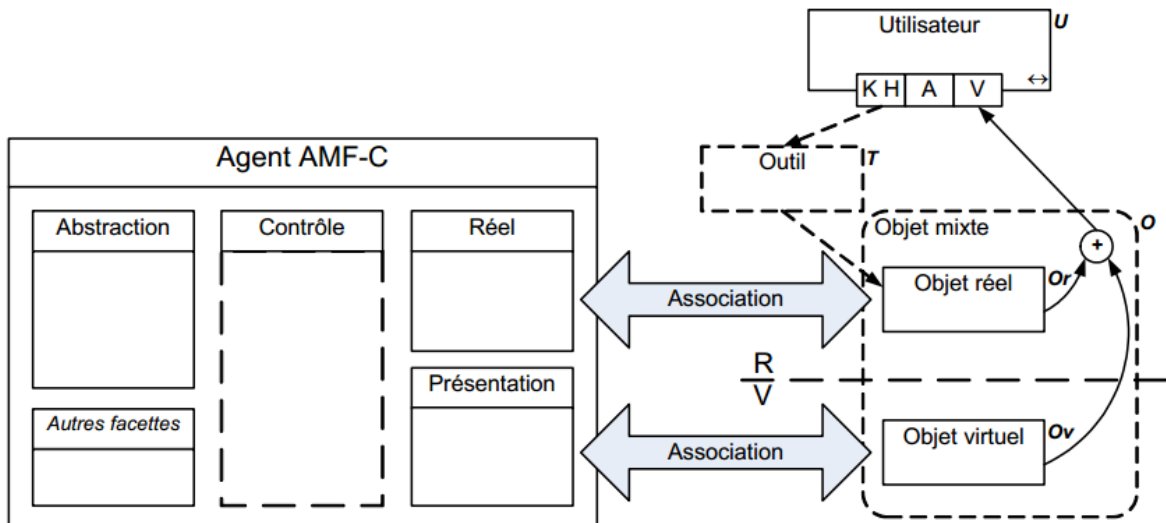


Figure 210 : Association entre un objet mixte IRVO et un agent AMF-C

Un agent AMF-C est associé à tout objet IRVO (Figure 210) :

- A la partie numérique de l'objet (O_n) nous associons la facette « Présentation numérique » (Objet virtuel dans la figure) classique de l'agent AMF ;
- A la partie physique de l'objet (O_p) nous associons la nouvelle facette « Présentation physique » de l'agent AMF (Objet réel dans la figure).

Ainsi les entités de l'interface purement numérique n'auront qu'une facette de « présentation numérique » dans leur agent AMF-C associé et les entités de l'interface purement physique n'auront qu'une facette « présentation physique ».

VI.4 Nos outils d'aide à la conception, utilisation et évaluation

VI.4.1 Un outil d'aide à la conception

L'ensemble des différents formalismes proposés permet de spécifier et modifier :

- La structure des différentes phases du jeu, ainsi que les acteurs présents ;
- Les possibilités d'action de chacun des acteurs dans l'activité ;
- la structure abstraite du jeu, avec la possibilité de changer la topologie des différents lieux logiques du jeu ;
- les états initiaux de l'environnement de jeu pour chaque phase ;
- les états finaux demandés, correspondant aux buts du jeu ;
- le choix des dispositifs interactifs utilisés, ainsi que les différentes entités du jeu à proposer sur chacun d'eux ;
- la présentation des différents éléments de l'interface, et ainsi proposer des présentations physiques, numériques ou mixtes des différentes entités interactives.

Les fichiers de descriptions utilisés constituent pour nous un premier outil permettant de faciliter la production de JPCS. Dans une logique d'automatisation et de programmation visuelle, nous avons aussi proposé eIME-DEMO (prononcez M-démo) (Figure 211) comme un éditeur de modèles d'environnement abstrait et eIRVO+ comme éditeur de modèle d'interaction

concrète pour modéliser l'agencement et les relations entre les différentes zones physiques, numériques et logiques ainsi que les relations entre objets physiques et entités de l'interface.

L'outil eIME-DEMO est un éditeur tel écran tel écrit (WYSIWYG) basé sur Microsoft Visio et sur les gabarits IRVO permettant d'utiliser les formalismes graphiques que nous avons proposés ou modifiés.

Cet éditeur permet, après une conception graphique des différents modèles d'en extraire un fichier de description au format XML directement interprétable par l'architecture. Ces fichiers de description, bien qu'incomplets au moment de l'exportation d'eIME-DEMO permettent ensuite de spécifier l'intégralité des propriétés des objets/outils/zones afin de rendre le déploiement du jeu plus souple. ils permettent enfin de spécifier les caractéristiques du contexte environnemental de manière dynamique.

Ces fichiers sont ensuite directement utilisés par l'architecture de jeu grâce à une macro VBA intégrée dans le modèle Visio.

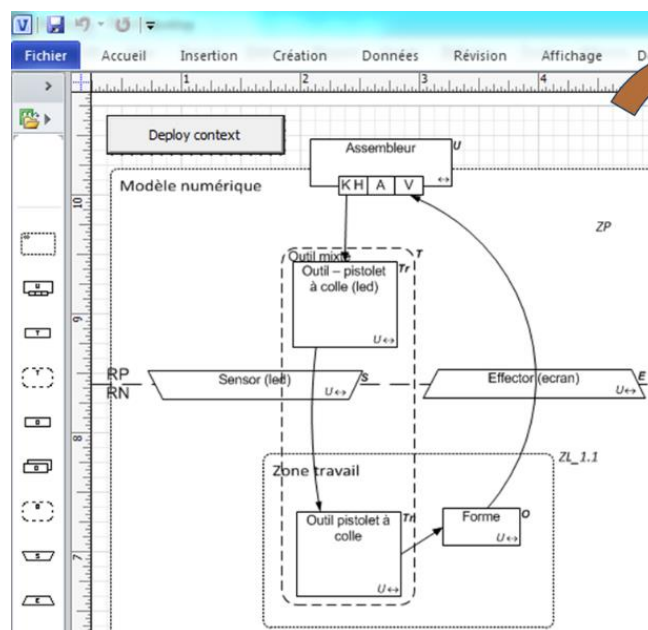


Figure 211 : eIRVO et la modélisation d'un pistolet à colle mixte

Dans l'exemple proposé en Figure 211, un concepteur est en train de réaliser graphiquement une configuration d'un environnement mixte. En modélisant ainsi l'interaction d'un utilisateur avec un pistolet à colle mixte, nous permettons la génération d'un fichier de description utilisable par l'architecture.

Dans l'exemple présenté en Figure 212, un concepteur est en train de modéliser la structure de l'environnement mixte interactif en réalisant les associations entre les zones physiques (définissant une localisation dans le monde physique), les zones d'interfaces (correspondant aux lieux de l'environnement logique qui vont être proposés dans l'interface), et les zones logiques, lieux numériques de l'activité virtuelle.

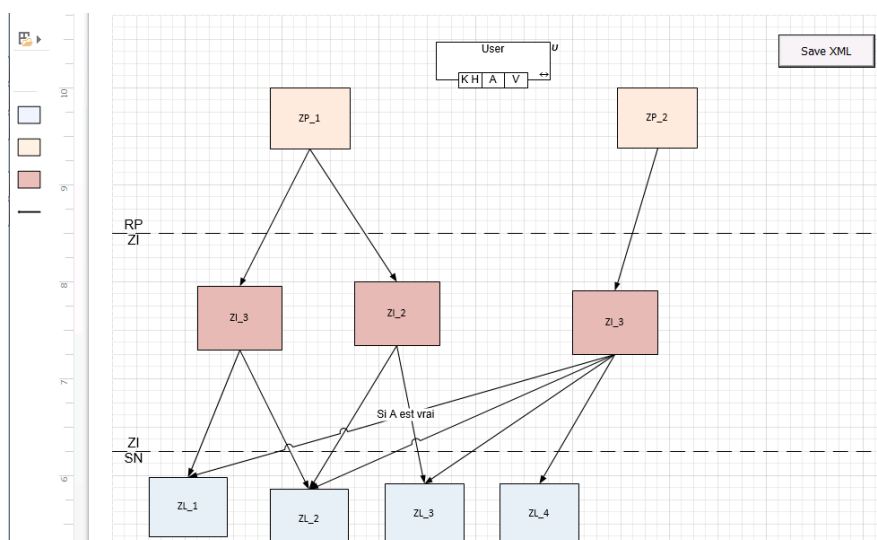


Figure 212 : eIME-DEMO et un modèle d'environnement

VI.4.2 Un outil de support d'utilisation

L'utilisation des différents modèles présentés en VI.1, ajoutée à l'utilisation d'agent AMF-C permet la réalisation d'une interface de support de l'activité.

Les différents éditeurs graphiques et textuels sont également utilisables comme « Méta-IHM » (Coutaz, 2006) ou d'« Extra-IHM » (Sottet et al., 2007). Ces outils sont utilisés comme une interface additionnelle permettant l'adaptabilité de l'interface utilisateur pour permettre sa reconfiguration rapide.

Nous proposons dans (David et al., 2013) l'utilisation des modèles d'interactions concrètes comme moyen de support dynamique des différentes caractéristiques de l'interface. Dans ces caractéristiques, les éléments de chaque formalisme peuvent être modifiés. Ainsi il est possible de :

- Modifier les caractéristiques de l'interface concrète, c'est-à-dire, entre autres, le fait qu'une entité numérique soit représentée physiquement, numériquement ou de manière mixte ;
- Modifier le déploiement des zones logiques sur les différents dispositifs interactifs.

Cependant, nous n'avons pas proposé pour le moment cet outil directement intégrable aux applications proposées.

VI.4.3 Un outil de mesures et de supervision

Ces modèles et outils peuvent aussi être utilisés comme **outils de suivi** et comme constitutifs d'un **tableau de bord** utilisable par un expert pédagogique à tout moment de l'exécution du JPCS.

L'utilisation des agents objets, outils et zones AMF-C nous a permis de réaliser un système de traces basé sur l'enregistrement des différents états des objets du jeu pour connaître globalement l'évolution de l'avancement du jeu.

Cette approche décompose une tâche pour capter les relations entre utilisateur, instrument/outil et objet. L'utilisateur agit sur l'outil qui modifie l'état du/des objets. Objets et outils ne sont pas différents par nature, mais uniquement en rapport à leur utilisation : un objet

peut être objet pour la tâche A et outil pour la tâche B (par exemple, un pinceau est objet dans tâche « Déposer de la peinture sur le pinceau » et devient outil au moment de peindre).

Chaque objet utilisé dans le jeu possède en lui-même les traces des manipulations effectuées sur lui-même. Ainsi, il est possible, à tout moment, de récupérer l'état ainsi que l'historique de toutes les actions effectuées sur les différentes entités du jeu.

Ces traces sont inscrites lors des étapes du processus de transformation des objets du domaine et sont classées selon le type générique que nous avons identifié :

- Modification ;
- Suppression ;
- Création ;
- Fusion ;
- Éclatement ;
- Déplacement.

À ces informations génériques de transformation sont ajoutées les informations de temps de réalisation depuis le début du jeu, ainsi que l'état des objets avant et après l'opération.

id	type	name	type2	value	place	time	relative time
1101	2 #	shapeType	Number	3			0
1101	2 #				Z_shape_out	1,35299E+12	102,551
1101	2 #				Z_wh_raw2	1,35299E+12	306,283
1101	2 #				Z_ass_in	1,35299E+12	344,669
1105	2 #	shapeType	Number	2			0
1105	2 #	glued.2	String	1140-0			0
1105	2 #	glued.0	String	40-1			0
1105	2 #	glued.3	String	1157-0			0
1105	2 #				Z_shape_out	1,35299E+12	219,381
1105	2 #				Z_wh_raw8	1,35299E+12	810,856
1105	2 #				Z_ass_in	1,35299E+12	860,573
1105	2 #				Z_ass_process	1,35299E+12	958,667

Tableau 8 : Exemples de traces récupérées

Ces informations sont à la fois utilisables dans un tableur (Tableau 8) et dans un logiciel de supervision (Figure 213) pour mieux se rendre compte de l'activité qui est en train d'être réalisée.

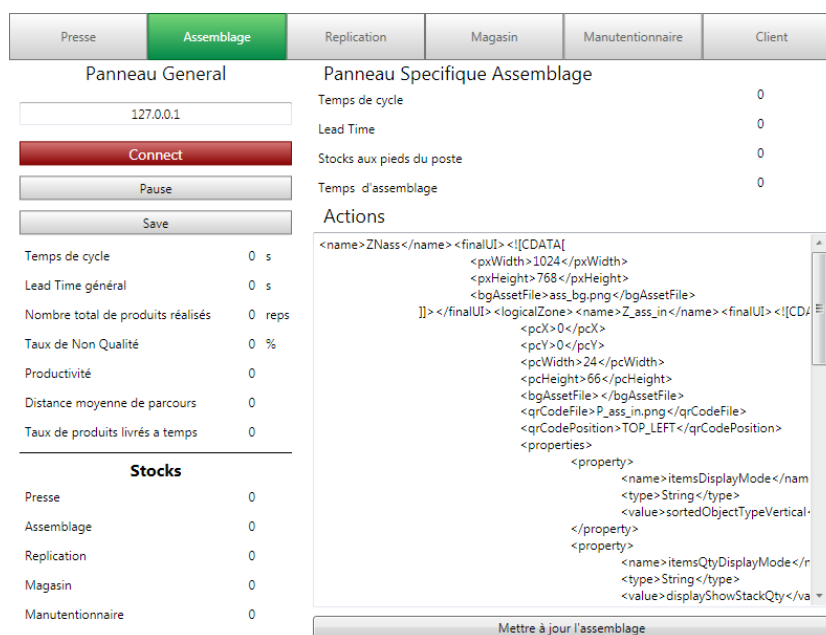


Figure 213 : Outil de supervision réalisé par Symetrix

Ces traces récupérées permettent de se rendre compte de la transformation d'objets, de leurs déplacements et du moment où ces actions ont été réalisées. Dans le cadre de Lea(r)nIT, la société Symetrix a produit un outil de supervision de l'activité faisant un récapitulatif des différentes actions réalisées et de leurs impacts dans la simulation (Figure 213).

VI.5 Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre, nous proposons de produire des JPCS à l'aide de six modèles comportementaux, un modèle d'architecture, des outils et un processus de conception. Les six modèles permettent la modélisation de l'activité, de l'environnement et des interactions homme-environnement :

- Orchestra-JPCS, comme modèle de l'activité d'orchestration des rôles du jeu, vise à décrire le déroulement du jeu basé sur la collaboration de rôles dans les différents épisodes, phases et/ou étapes, et décrit pour chaque intervention l'activité à effectuer, les objets et les outils impliqués, ainsi que le contexte de l'intervention.
- CTT comme modèle de tâches permet de décrire finement l'activité à effectuer. Cette modélisation permet de définir précisément les interactions abstraites et les opérations demandées au noyau fonctionnel.
- IME-DeMo (Abstract Interactif Mixed Environment Model), comme modèle de description abstraite de l'environnement, exprime le jeu sous forme de zones, les lieux logiques du jeu et permet de définir les flux entre les zones ainsi que le déploiement des zones interactives sur les différentes zones physiques présentes dans le jeu ;
- O-DeMo (Initial State Model), comme Modèle de déploiement de l'environnement, identifie la façon dont le jeu est déployé : les différentes entités du jeu, les rôles à jouer. Ce modèle sert à produire un espace des instances utilisables pendant le déroulement du jeu.
- ObMo (Objective Model), comme modèle des objectifs du JPCS, décrit les conditions nécessaires à la fin d'une étape de jeu ;
- IRVO+, comme modèle d'interaction concrète, décrit les interactions en précisant le lien

entre l'utilisateur, les entités physiques, numériques et logiques.

Ces différents modèles sont pris en compte par une architecture en couche utilisant des agents AMF-C pour profiter des avantages des architectures hybrides. De cette manière, l'utilisation de couches permet de structurer le logiciel par des rôles et l'utilisation d'agents permet l'injection des différentes caractéristiques issues des modèles. Au niveau inférieur, nous proposons un moteur de jeu permettant l'exécution de jeux selon différents types de temporalités.

Nous proposons ensuite un processus de production de JPCS partant des règles de jeu issues d'un manuel, dans lequel les caractéristiques essentielles sont sélectionnées pour permettre la complétion des six différents modèles. Ces différents modèles permettent après raffinement manuel de créer les différentes entités présentes dans le JPCS grâce à leur projection dans l'architecture de JPCS.

Nous proposons enfin différents outils pour les JPCS :

- Un outil permet d'éditer visuellement les différents modèles afin d'accélérer la production du JPCS.
- Un outil d'aide à la configuration du JPCS directement par les apprenants ou par le tuteur ;
- Un outil de supervision et d'aide à l'évaluation permettant de connaître l'état de l'environnement et des activités réalisées en son sein.

Ces outils se basent sur l'utilisation des différents modèles, conjugués aux agents AMF-C spécifiques que nous proposons pour faciliter la visualisation de l'activité et l'édition des différentes caractéristiques des objets interactifs pendant l'activité. L'évaluation de JPCS est elle aussi facilitée grâce à la mise en œuvre d'un système de traces basé sur le principe d'historiques des différents agents interactifs du jeu.

Nous présentons dans le chapitre VII un prototype de JPCS que nous avons réalisé et évalué au sein du projet SEGAREM et qui est à la fois l'objectif et notre exemple d'application de cette méthode de conception.

Chapitre VII : Conception, mise en œuvre et évaluation de Lea(r)nIT

VII.1	BUCKINGHAM LEAN GAME, VERSION PHYSIQUE DU JEU	237
VII.1.1	<i>Un contenu pédagogique</i>	237
VII.1.2	<i>Une simulation de chaîne de production</i>	238
VII.1.3	<i>Des améliorations discutées avec l'expert pédagogique</i>	241
VII.2	LEA(R)NIT COMME VERSION INFORMATISÉE (MIXTE) DU JEU.....	241
VII.2.1	<i>Univers fictionnel du jeu</i>	241
VII.2.2	<i>Simulation de la chaîne de production</i>	242
VII.3	CONCEPTION DE LEA(R)NIT	251
VII.3.1	<i>Modélisation du comportement de Lea(r)nIT</i>	251
VII.3.2	<i>Création des classes du jeu</i>	257
VII.3.3	<i>Structuration des zones d'interface</i>	258
VII.4	ÉVALUATION	259
VII.4.1	<i>Objectifs</i>	259
VII.4.2	<i>Organisation de l'expérimentation</i>	259
VII.4.3	<i>Données collectées</i>	260
VII.4.4	<i>Résultats</i>	263

Pour montrer de façon concrète la démarche de création et sa mise en œuvre, nous décrivons une étude de cas. Pour cela, nous présentons d'abord « Buckingham Lean Game » version originale purement physique du jeu puis sa transposition informatisée et modifiée Lea(r)nIT. Ce JPCS a été élaboré dans le cadre du projet SEGAREM en utilisant des interfaces tangibles et des dispositifs mobiles. Le nom Lea(r)nIT est un jeu de mot/contraction de Lean, Learn et IT (Interface Tangible).

VII.1 Buckingham Lean Game, version physique du jeu

VII.1.1 Un contenu pédagogique

Le Buckingham Lean Game (Bicheno, 1995) est un jeu pédagogique non informatisé qui vise à appliquer et à consolider les connaissances et méthodes du LEAN Manufacturing. Le Lean Manufacturing est une méthode utilisée dans les systèmes de production proposant des procédés d'amélioration continue visant à supprimer les gaspillages dans les systèmes de production. La formation s'effectue en présence d'un tuteur pédagogique, qui accompagne les élèves dans leurs démarches.

La méthode de Lean Manufacturing vise à supprimer les opérations n'ayant pas de valeur ajoutée pour le client en s'attaquant aux « mudas », gaspillages en français. Pour cela, l'objectif est de diminuer les surproductions, les attentes, les défauts qualité, les transports, les ruptures de flux et les stocks.

La démarche de formation est fondée sur des modifications itératives, appelée KAIZEN proposant de modifier petit à petit la chaîne de production pour arriver jusqu'à une solution satisfaisante (puisque ces modifications ont un coût).

Les élèves et le tuteur utilisent une analyse des flux physiques et des temps d'écoulement de la production pour déterminer et prioriser l'ordre d'actions à réaliser. Cette méthode est appelée la VSM (Value Stream Mapping).

Un principe important du Lean Management est le management visuel, lié à la récupération en temps réel d'indicateurs clés pour permettre la VSM. Chaque poste dispose de ses propres indicateurs, et lorsqu'il existe un écart important entre les objectifs et la réalité, une analyse et un plan d'action sont mis en place.

VII.1.2 Une simulation de chaîne de production

Le Buckingham Lean Game et Lea(r)nIT se basent sur l'utilisation d'une simulation d'une chaîne de production pour permettre l'apprentissage des méthodes du Lean Manufacturing. La chaîne de production simulée est basée sur différents postes de production ayant chacun un rôle déterminant dans le processus de création de produits finis, livrés au client à la fin de la chaîne. L'atelier fictif vise la production de poupées, utilisant des briques de LEGO pour représenter les matières premières et transformées.

VII.1.2.1 Différents postes simulés

Cinq postes fixes sont présents dans la chaîne de production, et correspondent à des machines spécifiques de la chaîne de production. Chacune de ces machines est nécessaire à la bonne fabrication des objets produits. La chaîne de production n'est pas optimisée au début du jeu, ce qui entraîne des problèmes d'efficacité. Une des améliorations possibles (souhaitées par l'expert pédagogique) est de réarranger spatialement les postes (sachant que la presse est trop lourde pour être déplacée).

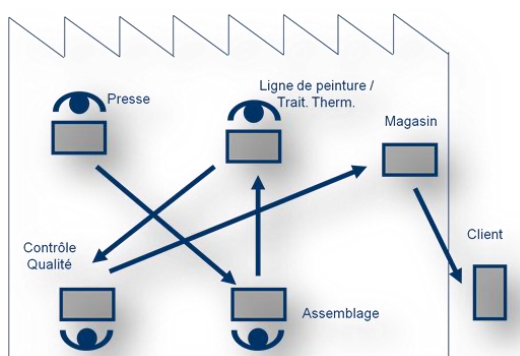


Figure 214 : chaîne de production simulée – modèle

Les différents postes présents sont (Figure 214) (Figure 215) :

- Le poste de presse, permettant le moulage de pièces à partir de matières premières ;
- Le poste d'assemblage, permettant l'assemblage du moule et d'autres pièces ;
- Le poste de peinture, pour peindre les pièces ;
- Le poste de contrôle, vérifiant si les pièces produites sont conformes au plan de fabrication ;
- Le magasin, qui stocke les matières premières et les produits transformés ;
- Le caddie du manutentionnaire, qui permet le transport d'un grand nombre de matières

premières/produits transformés.



Figure 215 : chaîne de production simulée par les membres de l'équipe

VII.1.2.2 Différents opérateurs de la chaîne de production

Cette chaîne de production a besoin de différents acteurs qui assurent des opérations de transformations (Figure 216) :

- Le mouleur, qui fabrique des corps à partir de granulats, travaillant sur le poste de moulage ;
- L'assembleur, qui à partir des corps fabriqués et quatre membres (bras et jambes) crée des corps assemblés, travaillant sur le poste d'assemblage ;
- L'imprégnateur, qui imprègne une personnalité au corps assemblé de manière à le faire devenir un « répliquant », travaillant sur le poste d'imprégnation ;
- Le manutentionnaire, qui déplace les produits de poste en poste, travaillant avec un caddie pour récupérer les différents produits ;
- Le responsable qualité, qui vérifie la conformité des produits réalisés au poste de qualité ;
- Le directeur d'usine, tuteur pédagogique, qui supervise le jeu.



Figure 216 : Les différents opérateurs et postes de la chaîne de production

Les différents opérateurs travaillent tant qu'ils ont des matières premières fournies par le manutentionnaire pour réaliser sa tâche.

VII.1.2.3 Différentes étapes du JPCS

Au début du jeu, l'usine contient de nombreux dysfonctionnements au niveau de sa chaîne de production et les apprenants doivent agir afin d'améliorer le procédé de fabrication. Pour cela, les apprenants ont trois itérations d'une séquence de quatre phases afin d'effectuer les

améliorations pour atteindre un niveau satisfaisant de production (que ce soit en termes de qualité et de quantité, dans une logique d'élimination des gaspillages) (Figure 217).

Chaque itération intègre :

- une phase de briefing des participants, où les participants écoutent le tuteur, pour recevoir leurs instructions ;
- une phase de simulation, où les opérateurs réalisent les tâches qui leur sont affectées (par rôle) ;
- une phase de débriefing sur la simulation, où les apprenants mettent en avant les dysfonctionnements de la chaîne de production et le tuteur fait le point sur l'avancement ;
- une phase de proposition d'amélioration de la chaîne de production où tous les élèves proposent des améliorations de la chaîne de production en rapport avec les méthodes de LEAN apprises pendant le cours.

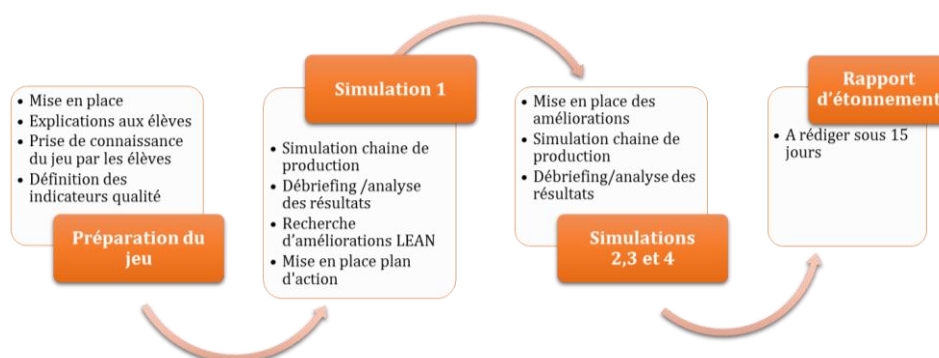


Figure 217 : Les différentes étapes du jeu

Dans la phase de débriefing, l'expert pédagogique et les élèves analysent à partir d'indicateurs les différents problèmes existants dans la simulation, puis à partir des méthodes, proposent des solutions d'amélioration à mettre en place (Figure 218).



Figure 218 : Utilisation de tableau de bord pour constater les évolutions

Les améliorations mises en place entre les itérations peuvent être de différentes natures : tri des pièces de LEGO à l'entrée des postes, déplacement physique d'un poste pour réduire les trajets du manutentionnaire, voire de plusieurs postes (pouvant potentiellement mener à terme à la suppression totale du manutentionnaire), de répartition du travail d'assemblage...

Les améliorations mises en œuvre sont soumises à vérification à la prochaine itération. Chacun des apprenants change de rôle entre les différentes phases, passant d'opérateur à décideur. Ce double point de vue leur permet de voir certaines des problématiques de l'opérateur, de

construire une vision collective à partir de points de vue personnels et ainsi se rendre compte de la complexité de la chaîne de production. Dans la phase de simulation du fonctionnement de la chaîne de production, plus importante vis-à-vis de la production informatique à réaliser, chacun des apprenants devient opérateur de la chaîne de production et est responsable d'une partie du processus de fabrication (grâce à des tâches à réaliser).

VII.1.3 Des améliorations discutées avec l'expert pédagogique

Avant de concevoir Lea(r)nIT, nous avons utilisé l'expertise pédagogique des enseignants du département Génie Industriel de l'INSA de Lyon qui utilisent ce jeu depuis de nombreuses années, pour nous donner un avis sur les orientations possibles lors de l'informatisation du jeu. Entre autres, nous avons recensé :

- Une complexification du processus de production ;
- L'ajout d'un réalisme du contexte industriel ;
- La réalisation d'opérations plus complexes avec des séries d'opérations plus évoluées ;
- La réalisation d'opérations plus réalistes avec une gestuelle plus complexe ;
- L'existence de défauts qualité plus variés ;
- La création de pannes, plus proche de la réalité d'une chaîne de production ;
- La possibilité de récupération des indicateurs déterminants à partir des traces.

Cette expertise pédagogique a permis d'effectuer des choix qui, au vu des expériences passées, sont potentiellement plus adaptés et ont une meilleure chance d'avoir un impact positif sur l'apprentissage.

VII.2 Lea(r)nIT comme version informatisée (mixte) du jeu

VII.2.1 Univers fictionnel du jeu

En cohérence avec les contraintes du jeu initial, les membres du projet SEGAREM ont proposé un univers de jeu et un nouveau scénario pour illustrer ses diverses modalités d'interaction ainsi que pour favoriser l'immersion des apprenants.

Nous nous sommes inspirés du film « Blade Runner » de Ridley Scott, lui-même adapté du livre de Philip K. Dick « Do Androids Dream of Electric Sheep? ».

« Nous sommes en 2032, la fin de l'espèce humaine est annoncée : les hommes ne peuvent plus se reproduire après qu'une série de catastrophes nucléaires a rendu stérile la totalité de l'humanité. Les maternités ne sont plus que ruines, les écoles rapidement abandonnées, les gouvernements n'ont plus de prises sur les populations, la guérilla urbaine s'est installée durablement... »

Dans ce contexte de fin du monde, Eldon Tyrell, génial cyber-généticien, redonne une lueur d'espoir : il parvient à créer des androïdes en tout point semblables aux êtres humains... les répliquants. Le procédé industriel utilisé crée néanmoins des défauts parmi ces répliquants : certains sont en effet dénués de

sensibilité et d'émotion et nécessitent d'être retirés pour repeupler le monde uniquement avec des répliquants proches des humains.

Saurez-vous améliorer le processus de production de l'usine Tyrell et ainsi permettre de produire un maximum de répliquants avant que n'advienne l'extinction de l'humanité ? »

Ce contexte fictionnel donne à la fois un thème fictionnel (ou « Background ») du jeu, incluant entre autres un scénario et un environnement graphique. Le scénario propose aux joueurs un but, consistant alors à « repeupler l'humanité » via la production en masse de « répliquants » en améliorant le processus de production de l'usine Tyrell par des méthodes d'amélioration continue.

VII.2.2 Simulation de la chaîne de production

La chaîne de production utilisée dans le Buckingham Lean Game a été reprise, avec conservation des postes et rôles. Pour permettre une simulation conservant les mêmes caractéristiques, où la plupart des acteurs ont un rôle de transformation de produit sauf le manutentionnaire qui a un poste mobile. Pour cela, nous avons utilisé différents dispositifs interactifs que nous présentons ci-après.

VII.2.2.1 Différents dispositifs interactifs utilisés

Lear(r)nIT a été réalisé en utilisant quatre types de dispositifs interactifs :

1. Trois pupitres interactifs, supportant le poste de moulage, d'assemblage et d'imprégnation ;
2. Une tablette pour supporter le Caddie ;
3. Une table Surface, pour supporter le magasin ;
4. Un téléphone pour supporter l'activité de contrôle qualité.

■ Pupitres interactifs

Les pupitres interactifs, au nombre de quatre (trois en version finale et un en prototype intermédiaire), ont été conçus par l'équipe pour Lea(r)nIT et permettent de travailler à un ou deux, interagissant principalement via des interfaces tactiles et/ou tangibles. Leur fonctionnement est détaillé dans le chapitre IV (IV.2).

Dans Lea(r)nIT, les pupitres ont été utilisés pour les rôles d'opérateurs fixes (presse, assemblage) et impliquant des interfaces tangibles, en particulier le poste d'opérateur d'imprégnation.

■ Tablette Android

L'utilisation de tablette est dédiée aux rôles mobiles. Dans le cas Lea(r)nIT il s'agit du rôle « manutentionnaire », chargé d'acheminer les matières premières et les matières transformées d'un poste à l'autre. La tablette est notamment dotée d'une caméra dorsale permettant de scanner les QR codes pour l'opération de contextualisation. En dehors de cette spécificité, les interactions utilisateurs sur la tablette sont exclusivement d'ordre tactile. L'utilisation d'Android permet l'utilisation d'application Adobe AIR et donc d'avoir un client tablette basé sur le même code.

■ Table interactive : Surface Microsoft

La table Surface Microsoft (maintenant appelée PixelSense) a été introduite dans les expérimentations Lea(r)nIT pour le poste magasin qui stocke les matières premières et les produits finis. Deux personnages, le manutentionnaire et le responsable qualité doivent l'utiliser pour récupérer/déposer des matières premières/produits finis dans le magasin et vérifier la conformité des produits transformés.

Pour permettre cela, les joueurs réalisent des interactions tactiles sur la table et pose un iPhone sur la table (plus précisément sur une case contenant un répliquant) de manière à transférer les informations concernant le répliquant de la table à l'iPhone via NFC (Near Field Communication).

■ Téléphone : Iphone

Un iPhone a été utilisé pour le rôle de « Blade Runner », responsable de la qualité des répliquants produits. Un mini-jeu sous forme de questions-réponses permet de tester le répliquant, à la suite desquelles le joueur décide de garder ou retirer le répliquant. L'application sur iPhone a été développée par la société Symetrix partenaire industriel du projet.

VII.2.2.2 Différents postes simulés

■ Poste de Presse

Utilisant un pupitre interactif, le poste de presse (Figure 219) accueille un utilisateur responsable de la production de « corps » de répliquant, issus d'une presse à injection utilisant des granulats en entrée et étant la base du répliquant. L'opérateur de presse doit d'abord sélectionner le moule adéquat pour produire la forme souhaitée (la forme prescrite est affichée dans la zone d'« ordres de fabrication »). Une fois le moule en place, il actionne la presse en maintenant ses doigts sur les boutons rouges jusqu'à ce que la production de la forme soit complète. Le corps créé apparaît alors dans la zone de sortie.

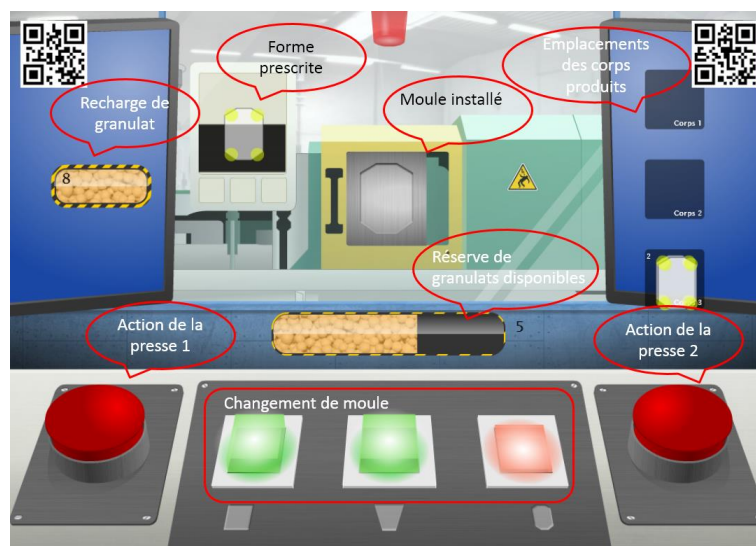


Figure 219 : Écran du poste de presse tel qu'affiché sur le pupitre

Pour actionner la presse, il faut laisser les deux boutons poussoirs rouges « appuyés » simultanément. Le joueur peut recharger la jauge de granulats disponibles affichée au centre en glissant (par drag'n drop) la recharge disponible sur la jauge. Les corps créés apparaissent

dans la « zone de sortie » située sur la droite. L'utilisateur doit gérer la quantité de granulats disponibles sous peine de déclencher une panne machine (lorsqu'il n'y a plus de granulats dans la machine) ou d'introduire des défauts dans le corps produit (s'il reste des granulats dans la machine, mais pas assez pour remplir complètement le moule). Lorsque la machine est en panne, la presse ne peut être utilisée pendant une minute, pénalisant alors toute la chaîne de production.

■ Poste d'assemblage

Sur un pupitre interactif, l'opérateur d'assemblage a pour rôle de coller et d'assembler les corps (produits par la presse) et les membres (matières premières stockées dans le magasin) pour créer le corps complet d'un répliquant. Pour cela il est muni d'un vrai pistolet à colle augmenté d'une LED qui est actionnée par un interrupteur placé sous la gâchette du pistolet et alimentée par une pile logée dans le corps du pistolet (Figure 220).



Figure 220 : Le pistolet à colle augmentée

Pour réaliser l'opération d'assemblage, le joueur dépose les matières sur le tapis. À l'aide du pistolet à colle, il dépose des points de colle sur le corps, puis les assemble en approchant les membres des points de colle (Figure 221).

L'opérateur d'assemblage doit déposer sur son espace de travail (au centre) les pièces nécessaires à l'assemblage d'un type de répliquant donné, dont l'agencement est montré par une figure d'exemple sur un support papier, selon le type de répliquant à produire.

Une fois déposée, la colle numérique met 10 secondes à sécher : si le joueur assemble un membre sur un point de colle « sec », il introduit alors un nouveau défaut de fabrication dans le produit. S'il utilise le pistolet alors que sa réserve de colle est vide, il « casse » alors le pistolet, l'empêchant de l'utiliser pendant une minute (et pénalisant ainsi la chaîne de production complète). Une fois le corps et les membres assemblés, le joueur doit appuyer sur les deux boutons rouges en même temps, ce qui déclenche le tapis roulant, lequel déplace alors l'assemblage en zone de sortie.

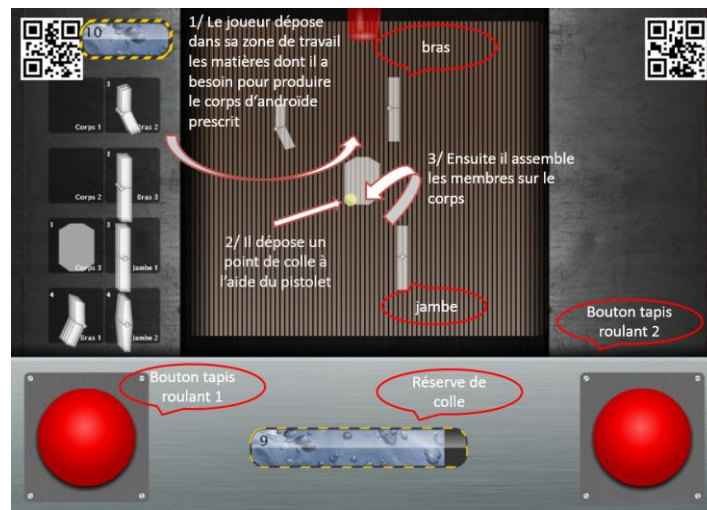


Figure 221 : Prototype du poste d'assemblage

Dans une première itération, les membres en zone d'entrée ne sont pas triés, rendant le travail de l'assembleur plus complexe. Lors du débriefing et faisant partie d'une amélioration en phase avec les concepts « LEAN », les apprenants ont proposé d'eux-mêmes de ranger les membres en zone d'entrée par type, ainsi qu'une aide de guidage (Figure 222) montrant l'endroit où déposer la colle sur les corps, ce qui a effectivement amélioré la productivité de l'assembleur.

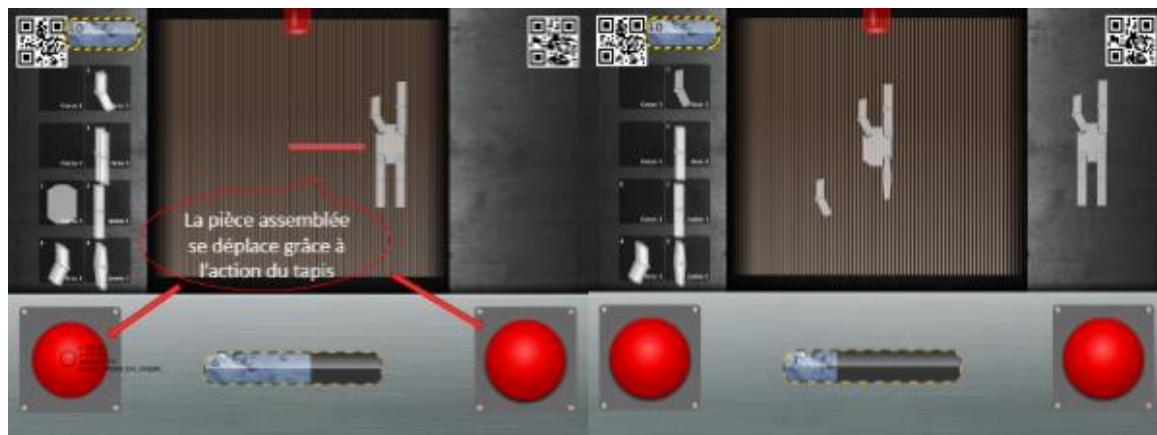


Figure 222 : Prototype du poste d'assemblage

■ Poste d'imprégnation

Sur un pupitre interactif (Figure 223), l'opérateur d'imprégnation « imprègne » le corps inerte produit par le poste d'assemblage d'une « personnalité » en contrôlant la puissance et dirigeant un rayon laser numérique, afin d'en faire un répliquant complet et doté d'une intelligence, d'une mémoire et d'un comportement. Pour représenter cet état « complet », l'image représentant l'assemblage se transforme peu à peu en une image plutôt réaliste, montrant l'un des trois produits possibles selon la forme du corps (un répliquant « Roy », « Pris » ou « Zohra » selon l'univers fictionnel de « Blade Runner »). Pour parvenir à imprégner le corps, l'opérateur utilise deux interfaces tangibles posées sur le pupitre dans la zone de travail : l'une pour contrôler la puissance du rayon d'imprégnation, sensible à la rotation impulsée par l'utilisateur, l'autre pour en contrôler la direction à partir du positionnement de l'axe entre les deux interfaces tangibles.

Le poste d'imprégnation fonctionne de cette manière : les corps assemblés se déplacent automatiquement vers la sortie et l'imprégnateur doit à l'aide de ses outils viser le corps afin de lui imprégner une personnalité. L'imprégnateur a deux outils pour réaliser ceux-ci (Figure 224) :

- un potentiomètre de puissance est manipulé par la rotation de l'objet vert ;
- un prisme directeur par le positionnement de l'objet rouge.

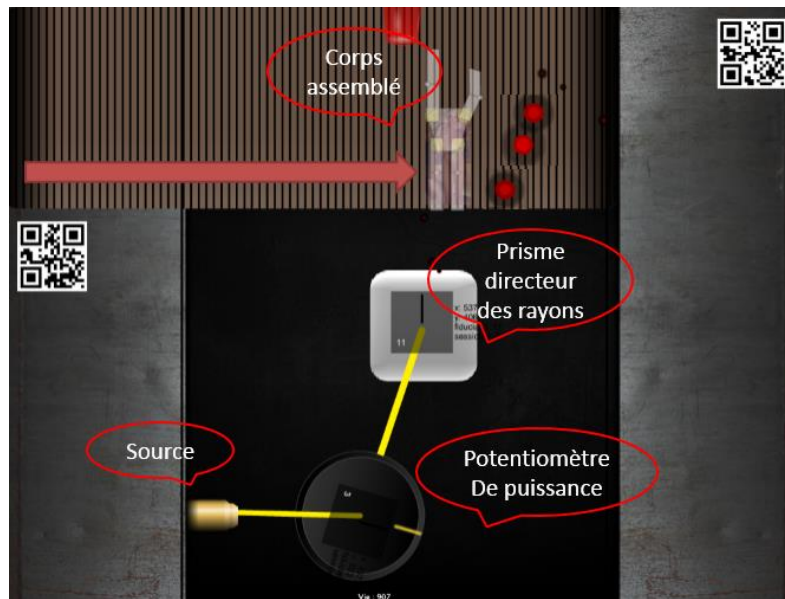


Figure 223 : Prototype de l'imprégneur

L'opérateur doit gérer la puissance du rayon : si le répliquant n'est pas assez ou trop « imprégné », un défaut y est introduit. Lorsque les rayons touchent les murs de l'atelier, cela endommage l'appareil. Au bout d'un certain nombre de rayons reçus par ces murs, l'atelier devient inutilisable pendant une minute, de manière à ce que celui-ci reprenne une température acceptable.



Figure 224 : Opération d'imprégnation en cours

■ Poste de manutentionnaire

Le manutentionnaire joue un rôle central dans la chaîne de production en acheminant les matières entre les différents postes (moule, assemblage et imprégnation). Pour cela, il se déplace vers un premier poste de travail, récupère les différentes pièces voulues et les déplace à un autre poste.

Pour permettre au système informatique de connaître la position du manutentionnaire, nous utilisons la contextualisation, réalisée grâce au scan de QR-codes placés sur les différents dispositifs.

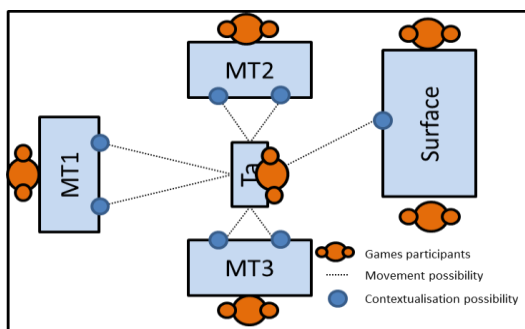


Figure 225 : Déplacement du manutentionnaire

Le manutentionnaire pour transporter les pièces utilise une tablette comportant des cases où il peut stocker les matières qu'il transporte (Figure 226).

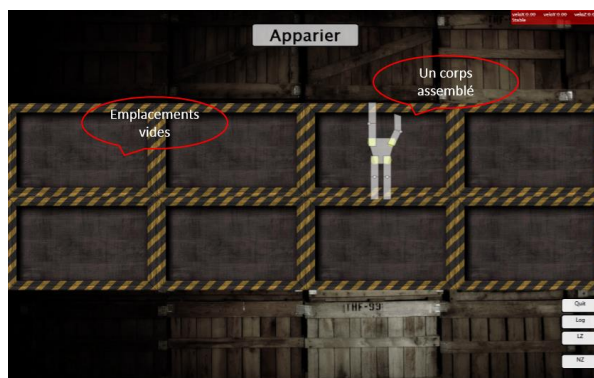


Figure 226 : Le prototype du Caddie "sans contexte"

Lorsque la tablette est contextualisée avec une zone d'un poste, elle affiche le stock de son chariot ainsi que la zone contextualisée (Figure 227).



Figure 227 : Le prototype du Caddie contextualisé

Le manutentionnaire peut ainsi y prendre ou y déposer les matières par drag'n drop (glisser-déposer) et le dépose ainsi sur chaque poste de travail (Figure 228).



Figure 228 : Le manutentionnaire dépose des pièces

■ Magasin

Le poste du magasin est déployé sur la table Surface Microsoft. Le magasin a pour rôle de stocker des matières premières ainsi que des répliquants. Trois rôles sont assignés à ce poste : le manutentionnaire qui vient prendre des matières premières et déposer les répliquants produits, le magasinier qui gère les stocks et met à disposition les matières premières pour le manutentionnaire et enfin le testeur qualité qui est chargé de tester les produits finis à l'aide de son application de test de vérification de la qualité des différents répliquants sur iPhone (Figure 229).

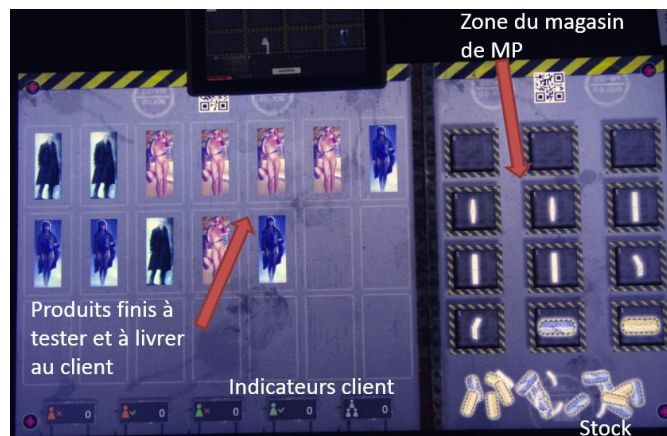


Figure 229 : Le magasin.

Les indicateurs clients sont mis à jour lorsque le testeur qualité termine un test (Figure 230). Les compteurs représentent :

- répliquants défectueux et rejetés par le testeur ;
- répliquants défectueux, mais acceptés par le testeur ;
- répliquants sans défaut mais rejetés par le testeur ;
- répliquants sans défaut et acceptés par le testeur ;
- répliquants livrés.

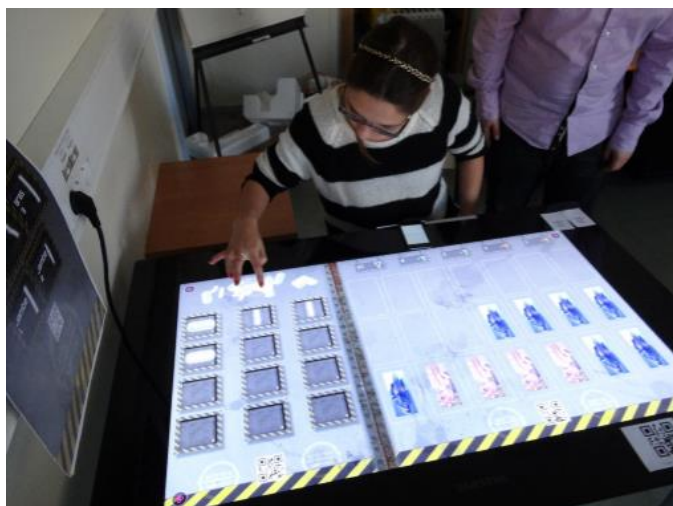


Figure 230 : Photo du magasin

■ Testeur Qualité

Inspiré du film « Blade Runner », le testeur qualité teste les répliquants produits en leur faisant passer le test de « Voigt-Turing », déterminant ainsi si le répliquant créé est doté de capacités empathiques. Le test consiste en une série de questions auxquelles le répliquant répond automatiquement, le testeur doit juger en fonction de la réponse si celui-ci démontre une certaine empathie ou plutôt une « froideur » ceci indique probablement un défaut dans sa fabrication. À tout moment le testeur peut décider de livrer le produit fini au client (le jugeant bon) ou de le rejeter, il peut consulter autant de questions/réponses qu'il le souhaite avant de prendre sa décision (mais le client attend !). Pour effectuer le test sur un répliquant le testeur qualité pose l'iPhone sur la table Surface dans le magasin, sur la case du répliquant à tester.



Figure 231 : Prototype du testeur qualité

Une fois les informations transférées, un visuel apparaît et le testeur fait défiler les questions et les réponses du répliquant et décide de le livrer ou de le retirer.

Nous présentons ici quelques-unes des questions posées (en gras la réponse attendue d'un répliquant sans défaut) :

- Votre fils vous montre ses papillons et le bocal où il les tue : **Je le fais examiner** / Je le félicite ;
- Quelqu'un vous offre un portefeuille en vachette : **Je le refuse** / Je l'accepte ;
- Vous êtes dans le désert, devant vous une tortue. Elle est retournée et le soleil lui brûle le ventre : Je la regarde / **Je la retourne** ;
- Etc. (il existe une vingtaine de questions).

■ Poste moniteur

Le poste moniteur est utilisé par le formateur pour avoir des indicateurs sur l'itération en cours, ainsi que pour déployer les modifications du jeu que les apprenants peuvent proposer (Figure 232). Il permet également des fonctionnalités de plus haut niveau telles que sauvegarder l'état du jeu ou mettre tous les clients en pause.

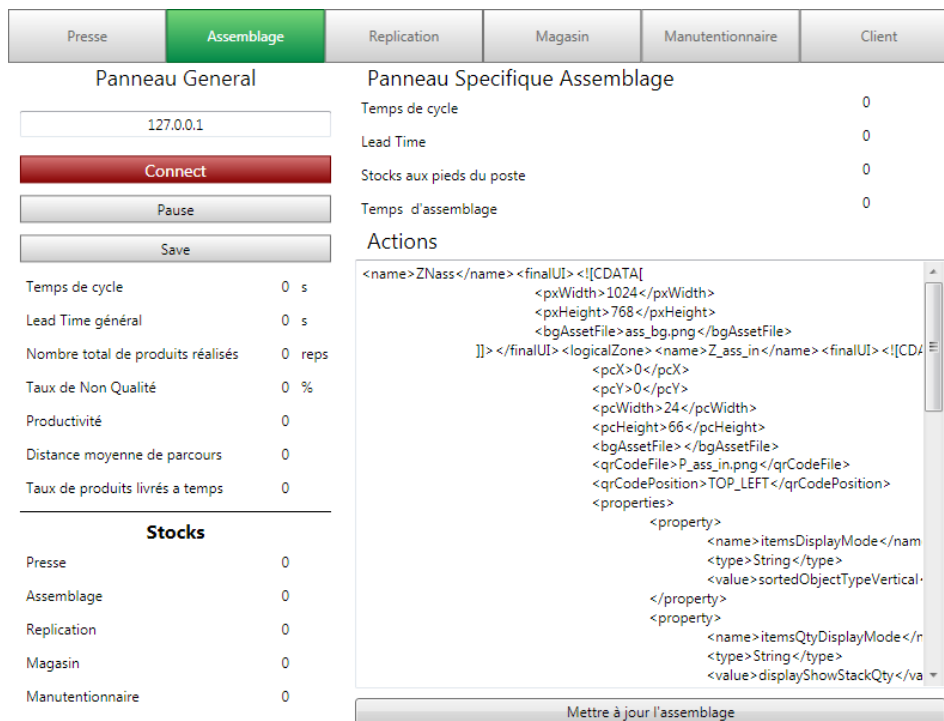


Figure 232 : Prototype du poste moniteur

VII.2.2.3 Différents rôles utilisés

Durant la phase de simulation, les opérateurs de presse, d'assemblage, d'imprégnation, ainsi que le manutentionnaire, le responsable qualité et le client sont les rôles représentés par les apprenants. Le Tableau 9 récapitule les différents rôles utilisés, les dispositifs d'interactions qu'ils ont à disposition, les tâches qu'ils ont à réaliser, ainsi que les objets du jeu utilisés.

Rôle	Poste	Tâches	Modalités d'interaction	Entrée	Sortie
Tuteur	Moniteur (PC)	Responsable de la pédagogie et anime le déroulement du jeu	Souris, clavier, écran et vidéoprojecteur		
Opérateur de presse	Presse (pupitre)	Actionne la presse pour produire les corps des répliants	Tactile	Sacs de granulats	Corps de répliants
Opérateur d'assemblage	Assemblage (pupitre)	Pose des points de colle à l'aide d'un pistolet à colle tangible puis assemble les	Tactile, interface tangible	Corps et membres de répliants,	Répliants assemblés

		membres sur les corps selon un standard de travail.	(pistolet à colle)	réserve de colle	
Opérateur d'imprégnation	Imprégnation (pupitre)	Imprègne le corps assemblé d'une personnalité à l'aide d'une technologie révolutionnaire !	Interfaces tangibles (potentiomètre,	Réplicants assemblés	Réplicants imprégnés (produit fini)
Testeur qualité	Contrôle qualité (Table surface et smartphone)	Contrôle que les réplicants produits ne comportent pas de défauts à l'aide du test de Voigt-Turing.	Tactile	Réplicants imprégnés	Réplicants imprégnés vérifiés
Client	Magasin	Effectue et réceptionne des commandes de réplicants	Tactile	Réplicants vérifiés, ordre de commande	Réplicants en accord avec la commande
Manutentionnaire	Chariot manutentionnaire (Tablette)	Achemine les matières premières et transformées d'un poste à l'autre	Tactile, contextualisation physique	Matières	matières

Tableau 9: Les différents rôles impliqués

VII.3 Conception de Lea(r)nIT

Comme nous avons pu le voir dans le chapitre V, la conception des jeux se fait en réalisant des modèles de collaboration, de flux, d'état et d'interaction.

VII.3.1 Modélisation du comportement de Lea(r)nIT

VII.3.1.1 Modélisation Orchestra du jeu

Le jeu se déroule en deux itérations de quatre phases chacune. De ces quatre phases, deux sont non informatisées, une ayant une incidence sur le fonctionnement de la simulation et la dernière étant la simulation en elle-même (dont le comportement est purement informatisé). Nous proposons une modélisation Orchestra de l'activité (Figure 233). À la fin du débriefing, des solutions proposées sont mises en œuvre pour permettre un nouveau « run » de simulation. Seul le « Game run », simulation de la chaîne de production, est entièrement informatisé.

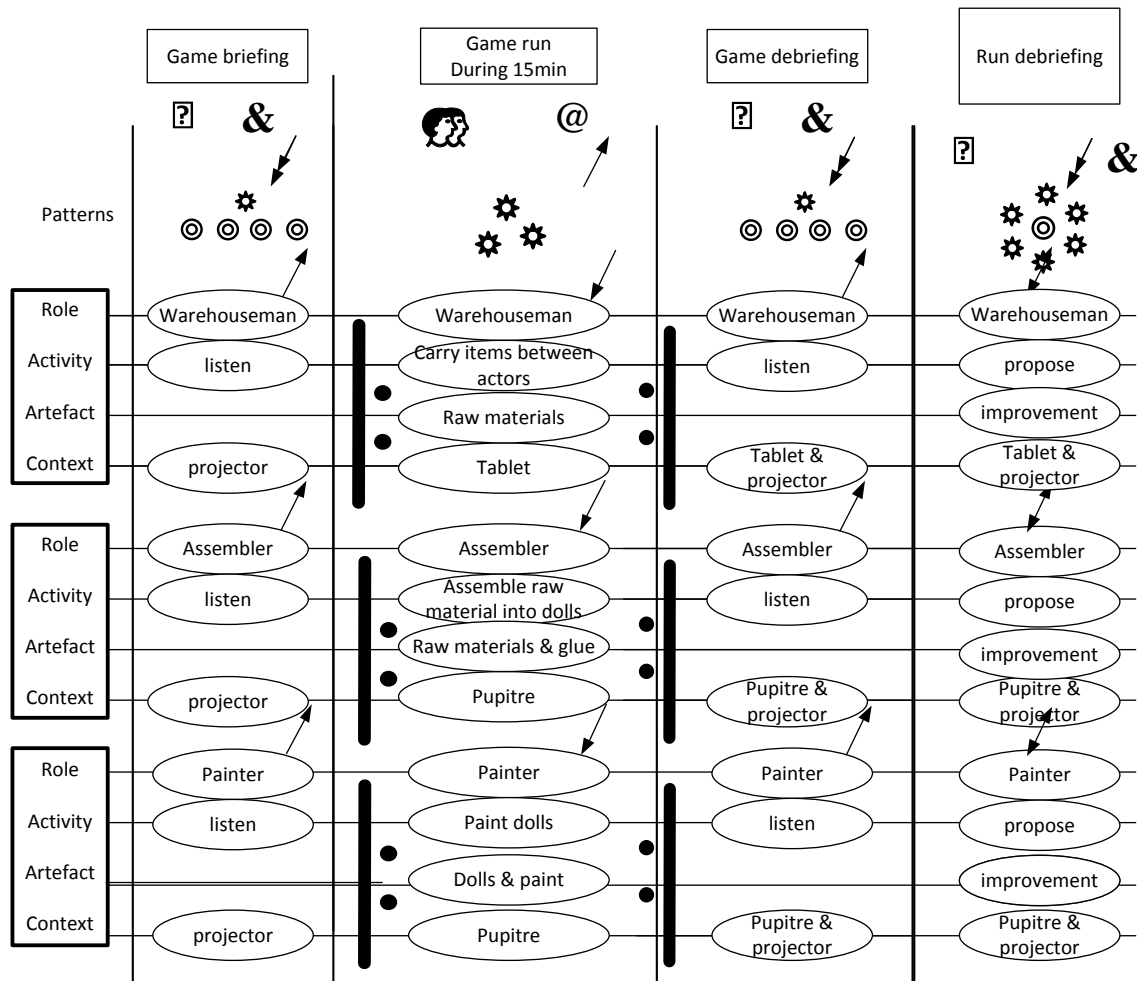


Figure 233 : Modélisation simplifiée du jeu sous Orchestra

VII.3.1.2 Modèle de tâches

Pour chacun des acteurs de la simulation, une tâche était demandée d'être répétée en boucle pour permettre la réalisation de l'activité. Nous avons pris l'exemple de la tâche d'assemblage (Figure 234).

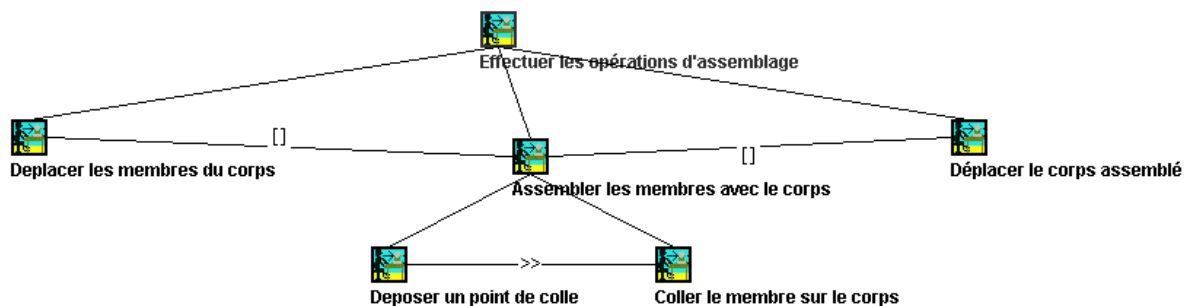


Figure 234 : Tâche d'assemblage modélisée

Ce modèle de tâches nous donne un fichier de description précisant les différentes actions réalisables par l'assembleur afin d'atteindre son but (réaliser le maximum de pièce) dans le temps imparti. Ce modèle de tâche permet la génération de fichier de description (Figure 235).


```

<Task Identifieur="Effectuer les opérations d'assemblage" Category="Interaction Task">
  <Name>name </Name>
  <Type>null</Type>
  <Description>null</Description>
  <Precondition>null</Precondition>
  <InputAction Description="null" From="null"/>
  <OutputAction Description="null" To="null"/>
</Object>
<SubTask>
<Task Identifieur="Déplacer les membres du corps" Category="Interaction Task" >
<Task Identifieur="Assembler les membres avec le corps" Category="Interaction Task">
  <Name>name </Name>
  <Type>null</Type>
  <Description>null</Description>
  <Precondition>null</Precondition>
  <TemporalOperator name="Choice"/>
  <SubTask>
<Task Identifieur="Déposer un point de colle" Category="Interaction Task" >
<Task Identifieur="Coller le membre sur le corps" Category="Interaction Task" >
  </SubTask>
</Task>
<Task Identifieur="Déplacer le corps assemblé" Category="Interaction Task" >
  </SubTask>
</Task>

```

Figure 235 : Modélisation de la tâche d'assemblage sous CTT (XML)

VII.3.1.3 Modèle d'environnement IME-DEMO

Nous proposons de structurer Lea(r)nIT selon les différentes logiques présentées ainsi que les différentes relations entre les différentes zones. Les échanges possibles entre les différentes zones sont exprimés selon leurs directions.

Pour simplifier la compréhension, voici un exemple ne prenant en compte qu'une seule des zones de transformation et modélisées avec le modèle de déploiement de l'environnement.

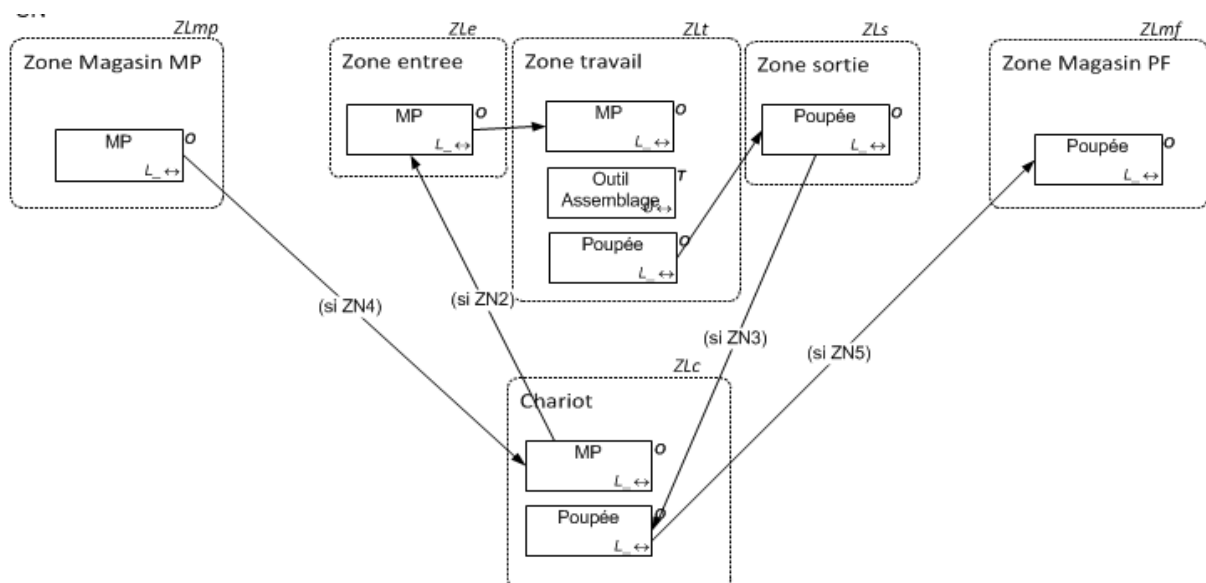


Figure 236. : Modélisation abstraite de zones de stockage et de zone de transformation

```

<zone>
  <name>Z_sto_mp</name>
  <description>Raw materials stock area</description>
  <maximumTotalCapacity>100</maximumTotalCapacity>
  <gameObjectTypeRestrictions>
    <gameObjectTypeRestriction>1</gameObjectTypeRestriction> <!-- granulat -->
    <gameObjectTypeRestriction>3</gameObjectTypeRestriction> <!-- glu -->
    <gameObjectTypeRestriction>4</gameObjectTypeRestriction> <!-- Members -->
    <gameObjectTypeRestriction>999</gameObjectTypeRestriction> <!-- Tools -->
  </gameObjectTypeRestrictions>
</zone>

<zone>
  <name>Z_shape_in</name>
  <description>Raw material shaper input area</description>
  <maximumTotalCapacity>2</maximumTotalCapacity>
  <gameObjectTypeRestrictions>
    <gameObjectTypeRestriction>1</gameObjectTypeRestriction> <!-- Granulat -->
    <gameObjectTypeRestriction>999</gameObjectTypeRestriction>
  </gameObjectTypeRestrictions>
  <toolClassRestrictions>
    <toolClassRestriction>1</toolClassRestriction>
  </toolClassRestrictions>
</zone>

```

Figure 237 : Description des zones et de leurs possibilités de stockage

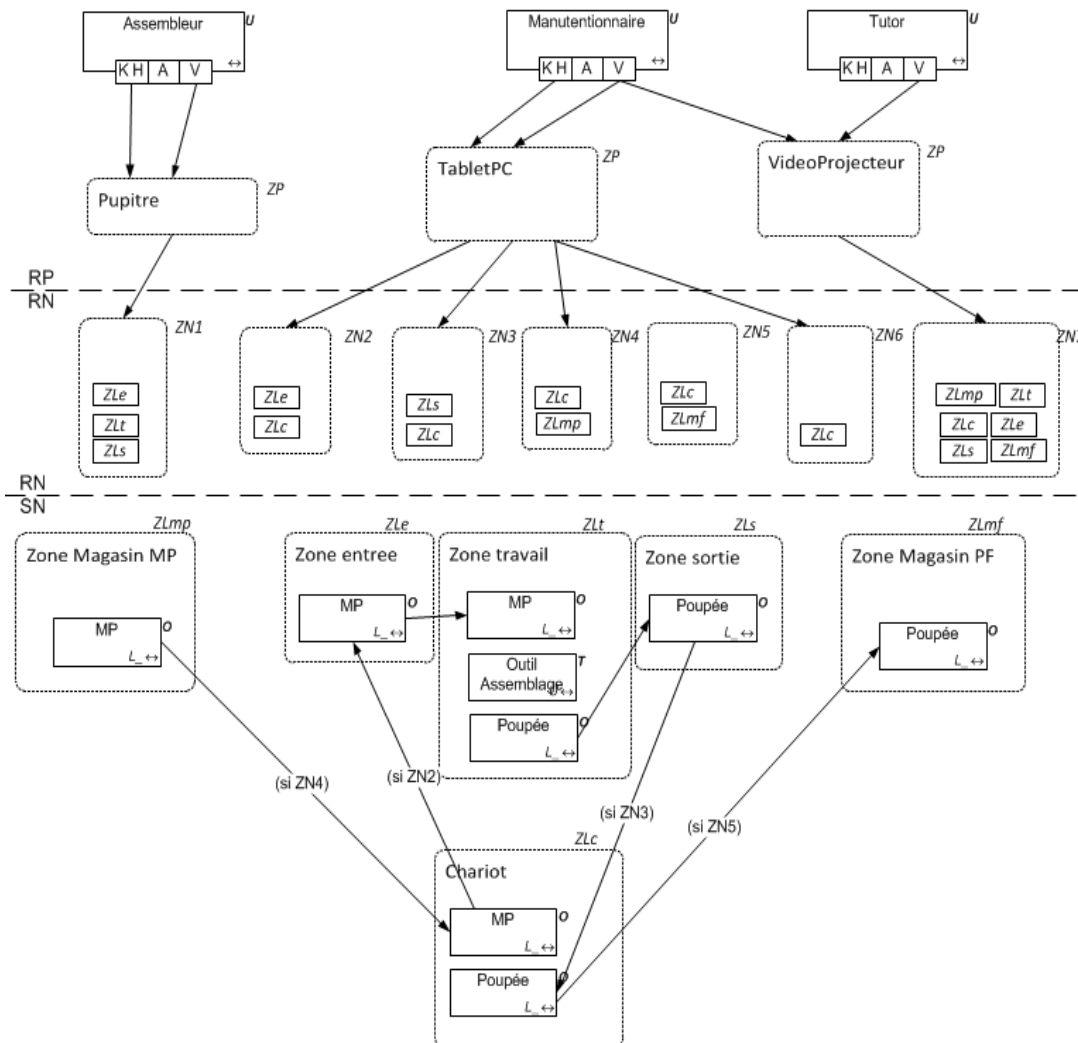


Figure 238 : Disposition physique et d'interface de l'environnement

Nous présentons le modèle abstrait du jeu pédagogique (avec un nombre d'utilisateurs et de dispositifs limités) utilisé lors de la création d'un JPCS (Figure 236). Pour commencer par les relations entre zones, cet exemple montre trois utilisateurs (appelés Assembleur, Manutentionnaire et Tuteur) qui se partagent l'utilisation de trois dispositifs interactifs (un pupitre interactif, une tablette et un vidéoprojecteur). Le fichier généré en XML par notre éditeur est présenté en Figure 237.

Le pupitre affiche à tout moment trois zones numériques, correspondant aux « zone d'entrée », « zone de travail » et « zone de sortie ». Le vidéoprojecteur affiche l'intégralité des zones. La tablette du manutentionnaire, en fonction de son contexte d'utilisation, affiche différentes zones (Figure 238).

VII.3.1.4 Modèle de déploiement initial de la simulation de jeu

Le modèle de déploiement initial de la simulation correspond à la fois à la structure des différentes zones présentes et à la définition des possibilités d'échange entre les différentes zones présentes, auxquelles l'on associe la présence d'instance d'objets dans les zones.

En accord avec le modèle des objets utilisés dans nos simulations de jeu, la définition des instances de zones et d'objets spécifiques est réalisée grâce à l'état initial du jeu. Dans l'exemple que nous présentons, la description permet de spécifier les différents objets présents à l'état initial dans la zone « Z_sto_mp », c'est-à-dire la zone de stockage des matières premières du magasin.

```
<!-- Zones description -->
<zones>
  <zone>
    <name>Z_sto_mp</name>
    <description>Raw materials stock area</description>
    <maximumTotalCapacity>100</maximumTotalCapacity>
    <gameObjectTypeRestrictions>
      <gameObjectTypeRestriction>1</gameObjectTypeRestriction>
      <gameObjectTypeRestriction>3</gameObjectTypeRestriction>
      <gameObjectTypeRestriction>4</gameObjectTypeRestriction>
    </gameObjectTypeRestrictions>
  </zone>
</zones>
```

Figure 239. Exemple de description d'état initial extrait de Lea(r)nIT

À partir de ce fichier (Figure 239), les différents objets et outils contenus dans ces zones vont pouvoir être créés à l'instanciation (exécution) du jeu.

VII.3.1.5 Modèle des objectifs du JPCS (Final State Model) - ObMo

Pour permettre l'arrêt d'une phase de jeu, la définition d'un état requis est formulée. Pour cela, nous spécifions l'état des propriétés dans le formalisme présenté ci-dessous. Dans Lea(r)nIT, l'état final d'une phase est défini par le temps : la simulation s'arrête au bout de 15 minutes. Pour ce qui est du débriefing, la phase est finie lorsque les améliorations sont choisies.

Nous pouvons à partir de ces fichiers définir d'autres possibilités comme l'état de fin de simulation, par exemple la production d'un certain nombre de répliants, ou alors avoir un maximum de 10 répliants possédant des défauts de fabrication.

Concernant la phase de choix d'améliorations, pour permettre de connaître un état final, il est nécessaire de faire réaliser une tâche à l'utilisateur correspondant à la validation de ses choix (Figure 240).

```

<Goals>
  <session id=1>
    <run id=1>
      <timelimit>900</timelimit>
    </run>
    <run id=2>
      <timelimit>900</timelimit>
    </run>
  </session>
  <session id=2>
    <run id=1>
      <action>
        <chosenimprovement>true
        </chosenimprovement >
      </action>
    </run>
  </session>
</Goals>

```

Figure 240 : Exemple de description d'état final, l'arrêt de Lea(r)nIT

VII.3.1.6 Amélioration de la chaîne de production et l'évolution du jeu

Entre chaque itération du jeu, les apprenants font un débriefing de l'itération précédente avec le formateur, dans le but d'exprimer les problèmes qu'ils ont constatés ainsi que des améliorations possibles. Les types d'améliorations suivants ont été implémentés :

- Les améliorations associées à un ajout d'information pour l'utilisateur (quantités en entrée et en sortie) ;
- Les améliorations associées à un regroupement des pièces identiques ; réduisant donc le temps qu'il faut à l'utilisateur pour prendre les pièces dont il a besoin pour effectuer sa tâche ;
- Les améliorations associées à une aide pour la réalisation d'une action, (par exemple monter les endroits où déposer la colle évite à l'opérateur d'assemblage de consulter son standard de travail pour coller) ;
- Les améliorations associées à des modifications de la structure des postes de travail, par exemple les apprenants peuvent décider de mettre deux postes côte à côte, supprimant le rôle du manutentionnaire entre eux.

Amélioration des indicateurs donnés aux utilisateurs (amélioration de type 1)	0: Aucun affichage sur les quantités de MP
	1: Affichage des quantités de MP courantes
	2: Affichage des quantités de MP requises + courantes
Possibilités de trier des objets présents (amélioration de type 2)	0: Aucun tri
	1: Tri des objets selon leur type
	2: Tri et affichage du nombre d'objets
Ajout d'élément graphique aidant le guidage (amélioration de type 3)	0: Aucune aide
	1: Aide de guidage pour les tâches demandées

Modification de la topologie : (amélioration de type 4)	0 : Organisation spatiale initiale
	1 : Suppression du manutentionnaire entre les postes de transformation

Tableau 10 : Différentes améliorations proposées aux apprenants

Le choix de ces différentes améliorations influe sur l'état initial de l'environnement de simulations (initialstate.xml) ainsi que sur la spécification des interfaces concrètes (cui.xml).

VII.3.2 Création des classes du jeu

Le modèle des objets du jeu ne nous permet pas de décrire plus finement les différentes entités présentes dans le jeu. Ces différents objets se spécialisent pour Lea(r)nIT pour discriminer les différents objets du domaine de la tâche utilisée. La description de ces objets correspond aux objets et à leurs propriétés déterminantes. Ils permettent de générer les classes des différents objets présents dans le jeu (Figure 241).

```

<worldObjectDescription>
<!-- World LearnIT object and tools -->
<gameObjectDescription>
  <type>1</type>
  <name>granulat</name>
  <isLeaf>true</isLeaf>
  <description>Product entry of shaper</description>
  <properties>
    <property>
      <name>quantity</name>
      <description>Quantity of product</description>
      <type>integer</type>
      <value>15</value>
    </property>
  </properties>
</gameObjectDescription>
<gameObjectDescription>
  <type>2</type>
  <name>shape</name>
  <isLeaf>true</isLeaf>
  <description>Body shape that comes out from shaper machine
</description>
  <properties>
    <property>
      <name>shapeType</name>
      <description>Shape number among {1:TRIANGLE; 2:ROUND;
3:SQUARE;}
      </description>
      <type>integer</type>

```

```

<value>8</value>
</property>
</properties>
</gameObjectDescription>

```

Figure 241 : Description des éléments de jeu en XML

VII.3.3 Structuration des zones d'interface

Concernant les différents postes de la ligne de production, nous pouvons différencier les postes de transformation (moulage, assemblage, imprégnation), du poste de transport (Caddie du manutentionnaire et des postes de stockages).

L'idée derrière cette structure de conception est de proposer la zone centrale comme zone de transformation, alors que les autres zones ne sont que des zones de transport (permettant le passage d'une zone à l'autre).

VII.3.3.1 Structure des postes de transformations

Concernant les postes de transformations, ceux-ci sont tous structurés de manière à avoir une possibilité de récupération de pièces issues des postes précédents dans la chaîne de transformation, puis une zone de transformation, contenant à la fois les objets à transformer et les outils de transformation, et enfin une zone de sortie, permettant de transférer les pièces transformées au prochain poste de travail (Figure 242).

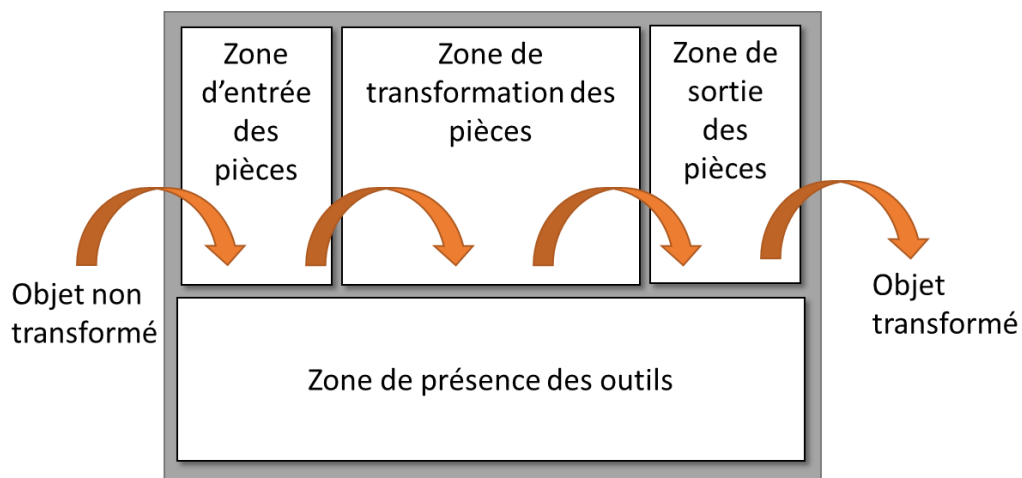


Figure 242 : Structure d'un poste de transformation

VII.3.3.2 Structure des postes de stockage

Le poste de transport, comme le manutentionnaire, n'a pas besoin de zone de transformation, mais possède une zone de stockage, permettant de faire le transport des objets entre une zone de sortie d'un premier poste de travail et une zone d'entrée d'un second poste de travail (Figure 243).

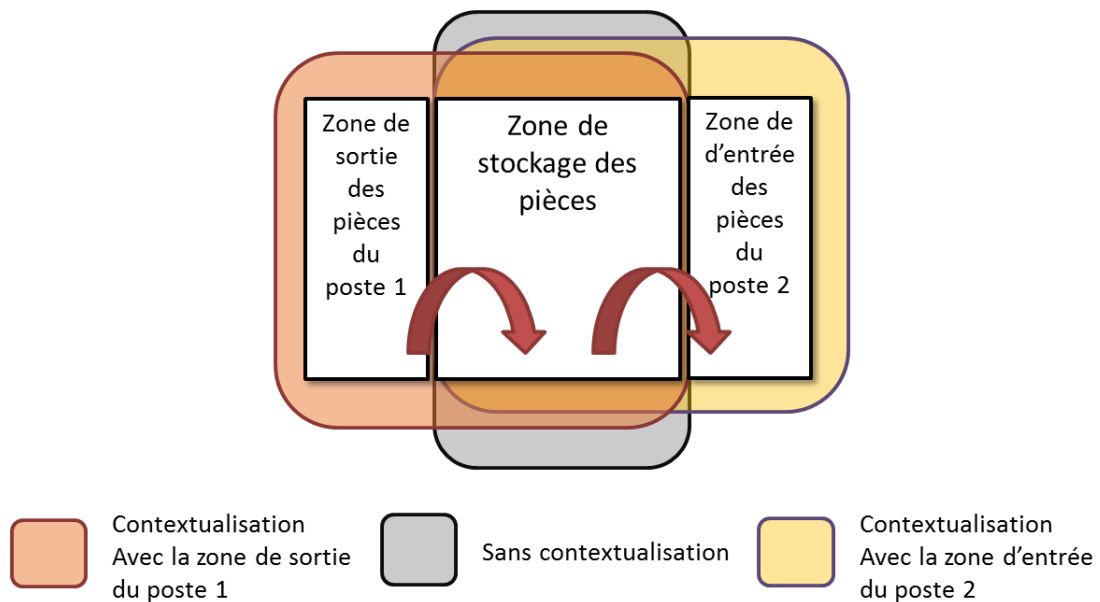


Figure 243 : Structure d'un poste de stockage

VII.4 Évaluation

Les évaluations de Lea(r)nIT ont été réalisées dans le cadre du projet SEGAREM, et ont impliqué l'ensemble des acteurs du projet. Pour cela, nous avons comparé deux situations d'apprentissages proches : l'utilisation du Buckingham Lean Game et de Lea(r)nIT dans le cadre de l'apprentissage des connaissances en Lean Manufacturing.

Certains de ces résultats correspondent aux travaux de l'équipe entière et font objet d'un article en cours de publication, et ne sont donc pas présentés ici.

VII.4.1 Objectifs

L'évaluation de Lea(r)nIT vise à évaluer l'impact de l'informatisation du Buckingham Lean Game au niveau :

- Des différences de l'apprentissage effectif ;
- De la perception, au niveau des avis ou des attitudes des apprenants et des différents dispositifs utilisés ;
- Des usages des dispositifs de formation.

VII.4.2 Organisation de l'expérimentation

Que ce soit pour le Buckingham Lean Game ou Lea(r)nIT, les participants ont suivi le même déroulement de test utilisateur à la différence près que le groupe LEGO a réalisé la formation avec le jeu Lean-LEGO et que le groupe Lea(r)nIT l'a réalisé avec Lea(r)nIT.

Nous avons pour cette expérience fait participer **trois groupes de sept personnes**, un premier groupe G1, utilisant le Buckingham Lean Game, et les groupes G2 et G3 utilisant Lea(r)nIT. Les 21 utilisateurs étaient tous des étudiants en GI à l'INSA de Lyon, soit dans le cursus ingénieur, soit dans le master 2 professionnel. La réalisation de la phase d'apprentissage a duré pour chaque groupe **trois heures**.

Le groupe G2 n'a pas été retenu pour l'analyse des résultats car l'expérimentation n'a pas été assez fluide, dû à un nombre trop important de problèmes techniques.

Ces évaluations ont été réalisées en suivant l'organisation suivante :

- présentation initiale ;
- questionnaire pré-test des connaissances sur les concepts du Lean ;
- phase d'exploration pour se familiariser avec les dispositifs et l'environnement ;
- phase de réalisation du jeu (deux itérations comprenant une simulation, une phase de débriefing et une phase d'amélioration) ;
- questionnaire post-test concernant l'évaluation des connaissances sur les concepts du Lean ;
- questionnaire post-test sur la satisfaction, les impressions et les commentaires des utilisateurs.

VII.4.3 Données collectées

Pour permettre une analyse qualitative de la situation, nous avons récupéré sous différentes formes des indicateurs utilisables pour évaluer les objectifs recherchés :

- des observations directes ;
- des traces utilisateurs de bas niveau et des indicateurs de performance issus de leurs interprétations ;
- les résultats des questionnaires pré et post tests.

VII.4.3.1 Observations directes

Pour permettre d'évaluer qualitativement la différence entre les deux situations, deux expérimentateurs ont relevé pendant l'expérience des informations sur les apprenants telles que des sentiments observés et des difficultés rencontrées pendant la réalisation de l'activité. Il s'agissait dans ces observations de percevoir les sentiments des utilisateurs en s'appuyant sur les mimiques, facies et paroles des apprenants pour inférer les appréciations sur l'expérience qu'ils étaient en train de réaliser. Lorsqu'une action a été réalisée, il est aussi possible grâce à ce type d'indicateurs de noter les différences entre l'activité prescrite et celle effectivement réalisée.

VII.4.3.2 Traces utilisateurs et indicateurs de performance

Nous avons aussi utilisé l'outil informatique comme moyen pour tracer l'activité des joueurs. Ces traces permettaient :

- l'analyse de l'activité post-test pour constater le comportement des utilisateurs ;
- la visualisation de la progression des apprenants dans le jeu ;
- la visualisation d'indicateurs de performance pour la phase de débriefing permettant aux apprenants de constater (ou non) l'impact des améliorations décidées ensemble (ces indicateurs ont été visualisables en temps réel sur le poste moniteur, mais n'ont pas réellement été utilisés pendant l'activité).

■ Traces utilisateurs

□ Objets de Lea(r)nIT

L'outil de monitoring, tel que conceptualisé en VI.4.2, permet la récupération de traces utilisateur. Pour cela, l'outil utilise la notification des propriétés des entités présentes.

Dans le cadre de Lea(r)nIT, les objets sont :

- Les sacs de granulats amenés à l'atelier de moulage ;
- Les corps créés à l'atelier de moulage ;
- La colle utilisée à l'atelier d'assemblage ;
- Les bras et jambes utilisés à l'assemblage.

Les opérations stockées sont les opérations de :

- création de l'objet ;
- déplacement de l'objet ;
- changement de moule ;
- pose de colle ;
- d'assemblage de différentes parties ;
- d'imprégnation d'une personnalité ;
- vérification qualité ;
- livraison au client.

Ces opérations sont classées par type et rôle dans le Tableau 11.

Action génériques	Action	Magasinier	Manutentionnaire	Mouleur	Assembleur	Imprégnateur	Responsable qualité
Ajouter	Commander produits manquants	X					
Supprimer	Mettre au rebus						X
Déplacer	Déplacer matières premières		X				
	Déplacer le corps		X	X			
	Déplacer l'android		X		X	X	
	Libérer le mouleur			X			
	Libérer l'assembleur				X		
	Livrer l'android	X					
Modifier	Changer le moule			X			
Transformer	Mouler le corps			X			
	Assembler l'android				X		
	Impregner la personnalité					X	
	Ajouter de la colle				X		
	Coller				X		
Contextualiser	Scanner le QR Code		X				
Comparer deux éléments	Vérifier la qualité du produit						X

Tableau 11: Description des actions tracées

□ Indicateurs spécifiques aux objets

À travers l'exemple du Tableau 11, il est possible de comprendre précisément comment les informations sont inscrites et comment nous les visualisons sous Excel. Cet exemple présente l'évolution de deux répliquants (objet de type 2) en cours de fabrication (un en entrée d'assemblage – Z_ass_in et un en zone d'assemblage (Z_ass_process), ainsi que les temps des différents déplacements. Le deuxième corps a quant à lui deux membres collés (le 1140 et le 1157).

id	type	name	type2	value	place	time	relative time
1101	2 #	shapeType	Number	3			0
1101	2 #				Z_shape_out	1,35299E+12	102,551
1101	2 #				Z_wh_raw2	1,35299E+12	306,283
1101	2 #				Z_ass_in	1,35299E+12	344,669
1105	2 #	shapeType	Number	2			0
1105	2 #	glued.2	String	1140-0			0
1105	2 #	glued.0	String	40-1			0
1105	2 #	glued.3	String	1157-0			0
1105	2 #				Z_shape_out	1,35299E+12	219,381
1105	2 #				Z_wh_raw8	1,35299E+12	810,856
1105	2 #				Z_ass_in	1,35299E+12	860,573
1105	2 #				Z_ass_process	1,35299E+12	958,667

Tableau 12 : Exemples de traces récupérées

□ Difficultés rencontrées

Au cours de l'expérimentation, nous avons été confrontés à un problème critique : le traçage des opérations de « fusion » d'éléments s'est soldé par la suppression des informations précédemment stockées. Ainsi, à cause d'un problème non prévu en phase de développement, le processus de fabrication n'a pas pu être intégralement tracé. Nous avons récupéré seulement les informations relatives aux opérations avant l'assemblage des membres et du corps et celles après l'assemblage.

Les informations issues de l'expérience ont été à cause de ceci inexploitable et ne pouvaient donner lieu à une analyse détaillée du processus de fabrication des différents objets. Cependant, le modèle de trace nous semble toujours valable pour modéliser l'évolution des différents objets présents.

■ Indicateurs de performance

Nous distinguons deux types d'indicateurs : des indicateurs généraux permettant d'évaluer la performance globale de la chaîne de production et des indicateurs spécifiques à chaque poste.

□ Indicateurs généraux

- **Temps de cycle** : Temps moyen qui s'écoule entre la production de deux répliquants (en sortie du contrôle QUALITE « Testeur ») ;
- **Lead time général** : durée moyenne de production d'un répliquant (durée comprise entre le démarrage de la chaîne – début de moulage de la pièce - et la fin du cycle – arrivée du répliquant en magasin - divisé par le nombre de répliquants produits en tout) ;
- **Nombre total de produits réalisés (avant contrôle)** : nombre total de produits sur une simulation (produits réalisés et arrivés dans le magasin) ;
- **Taux de non-qualité** : Le taux de rebut est le nombre de produits rejetés par le testeur qualité divisé par le nombre de produits testés sur un cycle de simulation (et *100 si on le veut en %) ;
- **Productivité** : nombre total de pièces produites divisé par le nombre d'opérateurs sur la chaîne (5) ;
- **Stocks au pied de chaque poste** : Nombre total de pièces immobilisées sur chaque atelier à la fin de la simulation ;
- **Distance moyenne de parcours** : Ici il faut prévoir que chaque pièce traverse une distance de tant de mètres (disons 15m). Après activation d'une amélioration qui consiste à rapprocher les ateliers assemblage et répliquation des ateliers presse et assemblage, on

descendrait alors à 5m ;

- **Le taux de produits livrés à temps** : nombre de produits livrés à temps divisé par le nombre total de produits livrés (à temps et en retard).

□ Indicateurs spécifiques aux postes

Les indicateurs suivants sont fournis pour chaque poste :

- **Temps de cycle** : Temps moyen passé entre deux sorties de produits ;
- **Lead Time** : Temps moyen passé par une pièce entre sa sortie de la zone d'entrée et son entrée dans la zone de sortie ;
- **Stocks au pied du poste** : Nombre moyen de produits immobilisés sur le poste : se calcule en prenant le nombre de pièces présentes sur le poste à chaque sortie de pièces.

VII.4.4 Résultats

VII.4.4.1 Observation directe

Pour les apprenants, nous avons pu constater lors de l'utilisation des dispositifs technologiques des sentiments positifs. En particulier, nous avons pu noter des sentiments de joie, satisfaction, dynamisme et enthousiasme chez les apprenants lors de leurs utilisations, et ce, même dans le cas où des problèmes techniques entachaient la réalisation de l'activité.

Nous avons en particulier pu constater un sentiment d'appréciation lors de l'utilisation du pistolet à colle infrarouge. À noter que certains des apprenants sur le poste d'assemblage utilisaient leurs coudes pour enclencher les boutons poussoirs en même temps de manière à ne pas avoir à enlever le pistolet des mains. Les apprenants ont aussi particulièrement apprécié l'ensemble du graphisme et la manipulation des éléments sur tablette et sur table surface.

Les principaux points gênants/bloquants pour les apprenants sont à deux niveaux :

- Des problèmes d'utilisabilité des dispositifs interactifs, avec en particulier une limite au niveau de la sensibilité des pupitres, non suffisante pour la plupart des utilisateurs (la sensibilité est moins bonne que la plupart des dispositifs tactiles actuels) et au niveau de la tablette avec une difficulté à scanner les différents codes présents ;
- Des défauts de programmation empêchant le fonctionnement normal de l'application (des pièces disparaissant ou ne voulant pas bouger).

Pour le tuteur pédagogique, les sentiments sont beaucoup plus mitigés, entre autres, avec un sentiment de perte de contrôle sur l'activité, sans pour autant avoir une impression d'amélioration significative de l'apprentissage chez les apprenants. Les difficultés d'utilisation et la méconnaissance technique ont probablement empêché l'appropriation de l'outil pédagogique.

VII.4.4.2 Questionnaire

Le questionnaire proposé aux apprenants a été réalisé en plusieurs parties distinctes : une partie concernant l'apprentissage des concepts du Lean Management et une partie liée aux perceptions des différents dispositifs technologiques.

■ Apprentissage

Nous avons comparé les évaluations des tests réalisés avec les deux contextes d'utilisation. Dans le cas de « Lego » (c'est-à-dire, du Buckingham Lean Game) ; la différence entre les

connaissances acquises avant et après l'activité d'apprentissage est de 2,5 points (+15,7 %). Dans le cas de Lea(r)nIT (v2), cette différence est de 6,11 points (+29,19%) (Figure 244).

Avec les expériences réalisées, nous ne pouvons pas utiliser ces résultats en termes d'analyse inférentielle, car le nombre de sujets ayant utilisé les deux jeux n'était pas suffisant. Il n'est donc pas possible d'en tirer des résultats inférés, cependant, les tendances semblent probantes.

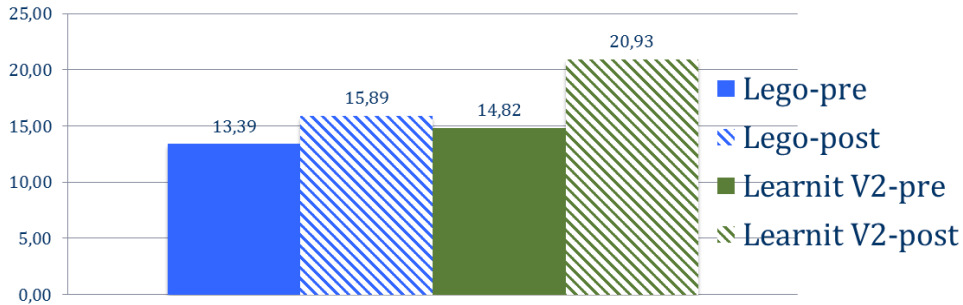


Figure 244 : Moyenne des tests de connaissances

■ Ressenti global

À travers le questionnaire post-test, nous avons demandé aux apprenants de juger leur propre ressenti vis-à-vis de l'expérience d'apprentissage sur différentes émotions avec une note de 0 à 4 (la note maximal étant 4). Dans le Tableau 13, nous pouvons observer des différences entre les notations pour les deux expériences : Lea(r)nIT en vert, le Buckingham Lean Game en bleu.

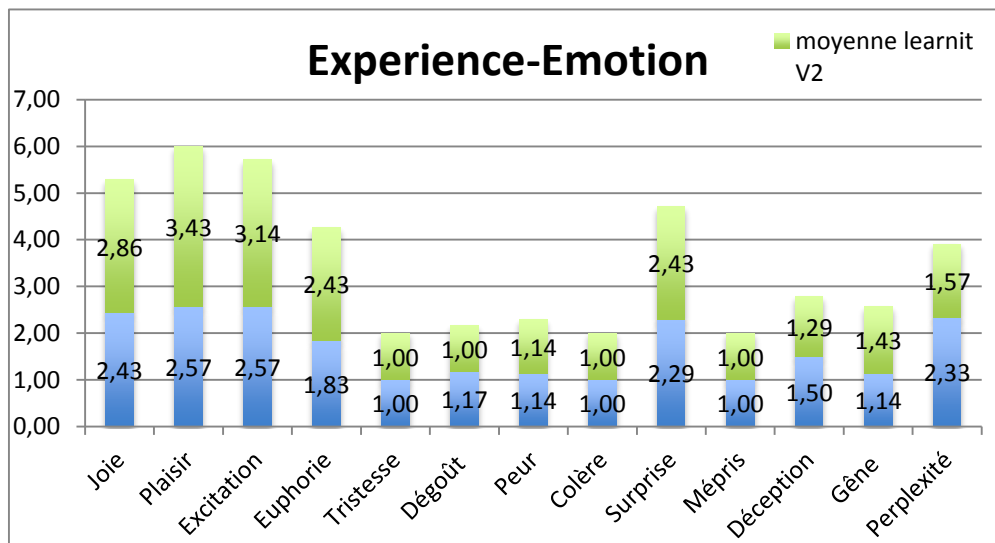


Tableau 13 : Émotions des différents apprenants

D'une manière globale, nous observons trois types de ressentis :

- les ressentis positifs (joie, plaisir, excitation, euphorie) ;
- les ressentis négatifs (tristesse, dégoût, colère, mépris, gêne) ;
- les ressentis de changement (peur, surprise, déception, perplexité).

Les apprenants ressentent des émotions positives telles que la joie, le plaisir, l'excitation dans l'activité d'apprentissage, que l'activité soit informatisée ou non. Dans un cas comme dans l'autre (en moyenne respectivement avec des notes de 2,965 et 2,35), ce sont les sentiments qui semblent avoir été le plus ressenti durant l'activité d'apprentissage. Nous pouvons noter une

différence d'environ 20% entre les notations issues du questionnaire lié à Lea(r)nIT par rapport à celui lié au Buckingham Lean Game.

Concernant les ressentis négatifs, que ce soit vis-à-vis de Lea(r)nIT ou du Buckingham Lean Game les notations sont identiques et dénotent de l'intérêt que les apprenants ont pour ce type de jeu. Le caractère innovant et peu habituel de ce type d'activités d'apprentissage est valorisé par ce type d'impression.

■ Ressenti des différents dispositifs

Au travers du questionnaire, nous avons demandé aux apprenants de juger les caractéristiques de chacun des postes avec une note de 0 à 4 sur les points suivants :

- Cohérence du poste ;
- Pertinence de l'activité ;
- Représentativité de l'activité ;
- Utilité ;
- Amusement ;
- Design graphique ;
- Fonctionnement des éléments ;
- Clarté des Informations .

Ces évaluations sont comparées entre le Buckingham Lean Game et Lea(r)nIT. L'ensemble de ces notes est représenté sur les diagrammes radars des Figure 245, Figure 246 et Figure 247.

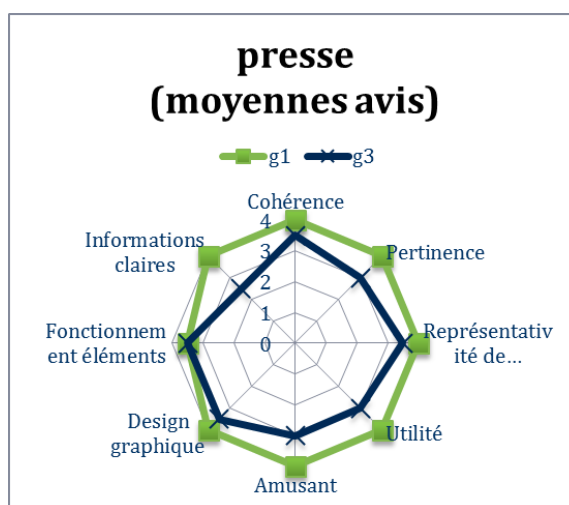


Figure 245 : Avis des différents utilisateurs de la presse

Pour le poste de presse, nous pouvons constater de bien meilleures notes (quasi parfaite pour la plupart) sont données pour le groupe ayant utilisé le Buckingham Lean Game.

Nous pouvons expliquer ce résultat par une très grande simplicité de l'activité sur le poste de presse (que ce soit pour la version informatisée ou non). De plus, aucune interaction innovante n'était présente sur ce poste.

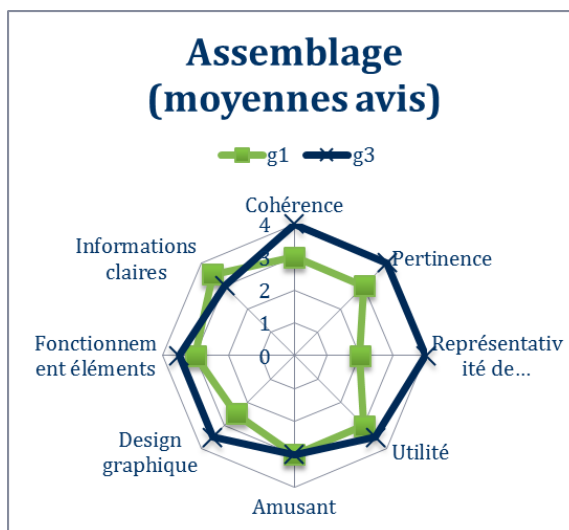


Figure 246 : Avis des différents utilisateurs de la poste d'assemblage

Contrairement au poste de presse, les notations du poste d'assemblage donnent de meilleurs résultats pour Lea(r)nIT, en particulier au niveau de la cohérence, de la pertinence et de la représentativité de l'activité. Ces résultats peuvent s'expliquer par un niveau de réalisme beaucoup plus important dans l'activité d'assemblage avec le pistolet à colle.

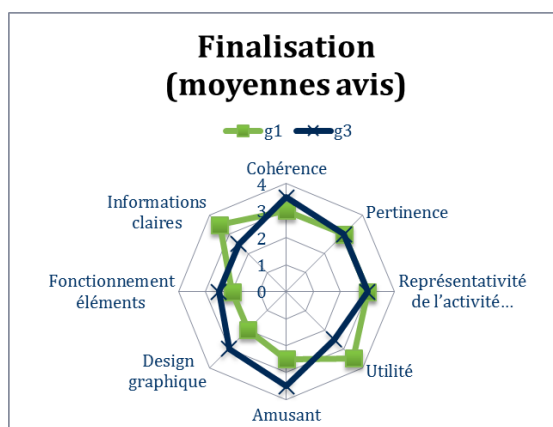


Figure 247 : Avis de l'utilisation du poste de finalisation

Concernant le poste de finalisation (imprégnation dans un cas, peinture dans l'autre cas), les résultats sont beaucoup plus proches. Le Buckingham Lean Game a de meilleures notes au niveau de l'utilité et de l'information plus claire alors que Lea(r)nIT a des meilleures notes au niveau de l'amusement et du design. Ces résultats peuvent nous indiquer une activité pas forcément très adaptée vis-à-vis de l'apprentissage. Une difficulté de conception réside au niveau de ce poste dans l'inexistence d'une activité authentique pour l'imprégnation. Nous pouvons noter par contre un plus fort niveau d'amusement avec l'utilisation corrélée des deux interfaces tangibles.

En faisant une comparaison poste à poste, nous pouvons constater de grosses différences de notation. Alors que le premier poste semble particulièrement adapté dans le Buckingham Lean Game, le poste d'assemblage est largement préféré dans Lea(r)nIT. Concernant le troisième poste, les résultats sont beaucoup plus mitigés, et une adaptation du scénario pour atteindre une activité réaliste serait probablement à réaliser.

VII.4.5 Conclusion de l'évaluation

À travers cette évaluation, nous avons pu mettre le prototype de Jeu pédagogique face à des utilisateurs finaux. Cette évaluation a permis la validation de notre méthode de conception et une première étude sur l'impact de l'utilisation de Lea(r)nIT dans une situation authentique d'apprentissage.

Les résultats que nous avons pu extraire de cette évaluation sont limités pour deux principales raisons :

- nous n'avons pu réaliser que deux séances, avec en tout quatorze apprenants ;
- certaines des traces prévues initialement n'ont pas été récoltées.

Nous pouvons cependant, sous forme de tendance, penser que l'utilisation de Lea(r)nIT a un effet positif sur l'apprentissage, en permettant une expérience plus remarquable. Les apprenants sont globalement satisfaits d'une expérience interactive riche, dans un cadre moins abstrait que le Buckingham Lean Game.

Concernant le tuteur pédagogique, l'expérience semble être beaucoup moins positive : l'ajout des dispositifs technologiques impose aux tuteurs d'avoir une connaissance importante de ces technologies et donne un sentiment de non-contrôle de la situation. Nous n'avons cependant pas concentré nos efforts sur la partie liée au tuteur et une deuxième itération réalisée permettrait de proposer aux tuteurs une interface de contrôle du jeu plus complète (état du monde initial et final, améliorations effectuées...) en plus du tableau de bord.

Chapitre VIII : Conclusions et perspectives

VIII.1	CONTRIBUTIONS	269
VIII.2	PERSPECTIVES	270
VIII.3	PUBLICATIONS	271

Dans le cadre de cette thèse, nous avons étudié les Jeux pédagogiques Collaboratifs Situés (JPCS), mis en place un environnement de réalité mixte permettant son support et proposé des solutions pour assister la transition entre conception et production.

Nous présentons dans ce chapitre un bilan de nos contributions en rappelant les apports de ces propositions ainsi que leurs limites. Nous ouvrons ensuite de nouvelles perspectives de recherche.

VIII.1 Contributions

Afin de répondre à notre problématique, nous avons contribué par deux apports distincts :

- 1/ La mise en œuvre d'un environnement mixte support d'activité simulée basé sur les pupitres multitouch supportant les interactions tangibles ;
- 2/ La proposition d'une méthode, de six modèles et de trois outils pour faciliter la conception de JPCS.

Dans ce mémoire de thèse, nous proposons un cadre concret de mise en œuvre de jeux pédagogiques collaboratifs situés. Pour réaliser ce cadre, nous proposons à la fois un environnement de réalité mixte et un moyen de prendre en compte tous types de dispositifs interactivement avancés dans un environnement mixte.

Que ce soit pour la problématique des environnements de réalité mixte ou celle des jeux pédagogiques collaboratifs situés, nous avons adopté une approche analytique structurante permettant de dégager les principaux concepts des JPCS.

Pour les environnements de réalité mixte, nous avons proposé un cadre de présentation de l'état de l'art (§III.1), différents exemples utilisés dans de nombreux domaines (§III.4) que nous avons corrélés avec les apports souhaités de leur utilisation (§III.3) et les dispositifs technologiques utilisés (§III.2).

Les connaissances théoriques et pratiques ainsi établies nous ont permis de concevoir et de mettre en œuvre de dispositifs supportant les interactions tangibles (quatre pupitres). Ce travail mené à partir des besoins recueillis (§IV.1), nous a conduit à examiner différentes solutions technologiques et de choisir les plus prometteuses et appropriées (§IV.2). Il en était de même pour l'aspect logiciels (§IV.3) et le choix des interactions (§IV.4) tout ceci validé par différents projets (§IV.5).

Concernant la conception du JPCS, nous avons progressivement défini le concept de jeu pédagogique collaboratif situé à partir du jeu (§V.1), de la prise en compte des mécaniques ludiques dans l'activité de l'apprentissage (§V.2) et des aspects collaboratifs et situés de

l'apprentissage (§V.3). Ces différentes composantes du JPCS sont justifiées au niveau pédagogique (stratégie d'apprentissage) (§II.3.2) par la pédagogie active, l'apprentissage collaboratif et l'apprentissage situé. Nous proposons pour produire un JPCS une méthode utilisant six modèles, une architecture fonctionnelle et trois outils supportant la structure générique des jeux pédagogiques collaboratifs situés et la spécialisation de l'architecture.

Les six modèles (§VI.1) permettent la description des activités collaboratives scénarisées, de l'environnement interactif mixte de réalisation de l'activité et des interactions homme-machine avancées. La projection des fichiers de description XML des modèles du JPCS dans notre architecture (§VI.2) permet d'intégrer l'ensemble de ces considérations dans une architecture fonctionnelle. Cette architecture multicouche et multi-agent est un squelette de JPCS spécialisé par les six modèles pouvant être complétés manuellement en fin de processus de production.

Les outils que nous proposons (§VI.3.6.5) permettent de faciliter la conception du jeu, par l'utilisation d'éditeurs graphiques aidant la construction de modèles, un outil de support de l'activité afin d'aider l'utilisateur à paramétrer ses possibilités d'interactions, et un outil de supervision facilitant le suivi de l'activité par l'enseignant et son évaluation.

Le processus de conception (§VI.3) que nous proposons se base sur la formulation de besoins des concepteurs et l'identification de leurs objectifs. En proposant ces différents formalismes, nous accompagnons concepteurs de jeu pédagogiques et équipes fonctionnelles et techniques dans la démarche de spécifications fonctionnelles concernant les activités du jeu, l'environnement de jeu et les interfaces homme-machines utilisées.

Notre démarche de production des différentes entités du jeu se base également sur l'utilisation de patterns de conception, permettant la caractérisation progressive des différentes entités du jeu, ainsi que des tâches à réaliser liées aux techniques d'interaction à utiliser. Le squelette d'application ainsi obtenu doit ensuite être affiné, entre autres par des contenus pédagogiques et des éléments graphiques adaptés.

La conception de Lea(r)nIT dans un cadre mixte industriel-académique constitue un premier exemple d'utilisation de cette méthode. Nous présentons notre source d'inspiration (§VII.1), les adaptations que nous avons réalisées pour proposer une version mixte (§VII.2), la conception (VII.3), utilisant modèles, architecture et outils que nous avons proposée et une évaluation succincte que nous avons réalisée (§VII.3.3).

VIII.2 Perspectives

Dans le projet SEGAREM, notre mission se concentrait principalement sur les aspects collaboratifs et l'introduction des possibilités issues des environnements en réalité mixte des jeux pédagogiques. Le travail réalisé est un départ pour limiter la difficulté de prise en compte de ces aspects, mais nécessite un travail supplémentaire afin de repréciser les aspects pédagogique-ludique des JPCS. Le projet ne durant « que » trois ans, de nombreuses perspectives peuvent être envisagées, qui en tant que telles n'ont pas pu être réalisées au sein de cette thèse et du projet SEGAREM. Il nous semble important de préciser certains des formalismes utilisés, de manière à proposer un environnement complet de configuration d'un JPCS :

- concernant la prise en compte de **l'environnement mixte**, un travail serait de préciser le modèle d'environnement mixte interactif (MEMI) afin de définir une géométrie

continue. En effet, pour prendre en compte l'intégralité des jeux, l'utilisation d'un modèle géométrique discret ne permet pas de définir suffisamment la localisation des différentes entités :

- concernant la prise en compte des **caractéristiques ludiques** d'un jeu, la première étape d'amélioration est la mise en place de scripts pour définir les comportements des éléments du jeu. Pour cela, un travail de mise en relation des composantes règles de jeu avec les aspects comportementaux des agents AMF-C doit être formalisé. Une seconde étape serait ensuite de définir des patterns de jeu à intégrer dans des activités d'apprentissage en environnement mixte ;
- concernant la prise en compte des **objectifs pédagogiques**, notre méthode n'inclut pas de modèle pour intégrer les connaissances/compétences dans le jeu. Nous pensons qu'il serait nécessaire de réaliser un travail de recherche permettant de faire une formalisation des mécaniques ludiques et la prise en compte des modèles de connaissances (type MOT ou MASK) et des modèles de scénarisation (type IMS-LD) dans des scénarios évoluant dans des environnements ludiques.

Ceci étant fait, une recherche plus orientée vers les sciences de l'éducation pourrait être menée, en faisant le lien entre objectifs pédagogiques, mécanismes ludiques et caractéristiques sociales et environnementales à utiliser.

VIII.3 Publications

Voici la liste des publications en rapport avec cette thèse.

Delomier F., David B., Benazeth C., Chalon R., **2013**, *Conception et mise en œuvre de Learning Games Collaboratifs Contextualisés*, Revue «Ingénierie des systèmes d'information », Volume 18, Issue 5, pp. 107-131, Hermès -Lavoisier, Paris, France, ISSN :1633-131.

David B., Chalon R., **Delomier F.**, **2013**, Supportive User Interfaces for MOCOCO (Mobility, Contextualized and collaborative) application, In Proceedings of Human Computer Interaction International (**HCI'13**), pp. 29-38, LNCS 8008, Springer-Verlag, Berlin, Germany, ISBN 9783-642-39341-9.

Delomier F., David B., Benazeth C., Chalon R., **2012**, Situated and colocated Learning Games, In *Proceedings of the 6th European Conference on Game Based Learning (EC-GBL'12)*, pp. 139-151, Academic Conferences and Publishing International Limited, London, United Kingdom, ISBN 978-1-62748-068-0, ISSN: 2049-0992.

Delomier F., David B., Benazeth C., Chalon C., **2012**, Conception et mise en œuvre de Learning Games Collaboratifs Contextualisés, In *Actes de Première conférence francophone sur les systèmes Collaboratifs (SYSCO)*, pp. 15-30, Noua editions, Sphax, Tunisie

David B., **Delomier F.**, Benazeth C., Chalon R., **2012**, Du formalisme à la mise en œuvre de systèmes coopératifs *mobiles et contextuels*, In *Actes de Première conférence francophone sur les systèmes Collaboratifs (SYSCO)*, pp. 45-59, Noua editions, Sphax, Tunisie.

David B., **Delomier F.**, Benazeth C., Chalon C., **2012**, Formalisme pour la spécification de systèmes coopératifs mobiles et contextuels, in *Actes de Première conférence francophone sur les systèmes Collaboratifs (SYSCO)*, pp. 59-73, Noua editions, Sphax, Tunisie.

Delomier F., David B., Chalon R., Tarpin-Bernard F., **2011**, Place de la réalité mixte dans les Serious Games, In *George S., Cerna A. (Eds), Actes de l'atelier IHM avancées pour l'apprentissage*, Conférence sur les environnements d'apprentissage humain (EIAH'2011), pp. 45-53.

Courdavault C., **Delomier F.**, Chalon R., David B., George S., Michel C., Prévôt P., **2010**, *Serious Games et Réalité Mixte*, Poster, Forum Systèmes et Logiciels pour les NTIC dans le Transport, Paris, France, 25 mars 2010.

Delomier F., Nouvelles interactions dans les serious games, in Guéraud V, Lefevre M. (Eds) *Actes des 3ieme Rencontre Jeunes Chercheurs – Environnement Informatique d'Apprentissage Humain (RJC EIAH'2010)*.

Bibliographie

A

Alvarez J., Djaouti D., 2010, *Introduction au Serious Game*, Questions théoriques, 256 p., ISBN 291713108X.

Amory A., 2007, Game Object Model version II: A theoretical framework for educational game development, *Educational Technology Research et Development*, Volume 55, Issue 1, pp. 51-77.

Anastassova M., 2006, L'analyse ergonomique des besoins en amont de la conception de technologies émergentes, In *Le cas de la Réalité Augmentée pour la formation à la maintenance automobile*, Thèse de doctorat en ergonomie, Université Paris V, Paris, France.

Anastassova M., 2007, L'ergonomie de la réalité augmentée pour l'apprentissage : une revue, *Le travail humain*, pp. 97-125, Presse universitaire de France, Paris, France.

Antle A.N., 2007, The CTI framework: informing the design of tangible systems for children, In *Proceedings of the 1st Int. Conf. Tangible and Embedded interaction (TEI '07)*, pp. 195-202, ACM Press, New-York, USA.

Appert C., 2007, *Modélisation, Évaluation et Génération de Techniques d'Interaction*, Thèse en informatique de l'Université Paris-Sud, Paris, France.

Arrow K., 1962, The Economic Implications of Learning by Doing, In *The Review of Economic Studies*, Volume 29, Issue 3, pp. 155-173.

Asgari M., Kaufman D., 2004, Intrinsic Motivation and Game Design, first author article at the *35th Annual Conference of the International Simulation and Gaming Association (ISAGA)* and Conjoint Conference of SAGSAGA, Munich, Germany.

Atkinson R., Shiffrin R., 1968, Human memory: A proposed system and its control processes, In Spence K. and Spence J. (Eds.), *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*, Volume 2, pp. 89-195, Academic Press, New-York, USA.

Azuma R., Bishop G., 1994, Improving Static and Dynamic Registration in an Optical See-Through HMD, In *Proceedings of ACM Special Interest Group in GRAPHics (SIGGRAPH 1994)*, Computer Graphics, Annual Conference Series, ACM Press, New-York, USA.

Azuma R., 2001, Augmented Reality: Approaches and Technical Challenges, In Barfield W. and Caudell T. (Eds), *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality*, Chapter 2, pp. 27-63, Lawrence Erlbaum Associates, London, United Kingdom.

B

Baddeley A.D., 2000, The episodic buffer: A new component of working memory? In *Trends in Cognitive Sciences*, Volume 12, pp. 417-423.

Ballendat T., Marquardt N., Greenberg S., 2010, Proxemic interaction: designing for a proximity and orientation-aware environment, In *Proceedings of ACM International*

Conference on Interactive Tabletops and Surfaces (ITS '10), pp. 121-130, ACM Press, New-York, USA.

Bandura A., Schunk D.H., **1981**, Cultivating competence, self-efficacy and intrinsic interest through proximal self-motivation, *Journal of Personality and Social Psychology*, Volume 41, Issue 3, pp. 586-598, American Psychological Association, Washington, D.C., United States, ISSN 0022-3514.

Bandura A., Cervone D., **1983**, Self-evaluative and self-efficacy mechanisms governing the motivational effects of goal systems, *Journal of Personality and Social Psychology*, Volume 45, pp. 1017-1028, American Psychological Association, Washington, D.C., United States, ISSN 1223-2001.

Bandura A., **1995**, *Self-efficacy in changing societies*, Cambridge University Press, Cambridge, USA, ISBN 9780521586962.

Barker R.G., **1968**, *Ecological Psychology: Concepts and methods for studying the environment of human behavior*, Stanford University Press, Palo Alto, CA, USA.

Baron M., Lucquiaud V., Autard D., Scapin D., **2006**, K-MADe : un environnement pour le noyau du modèle de description de l'activité, In *Proceedings of the 18th International Conference of the Association Francophone d'Interaction Homme-Machine*, pp. 287-288, ACM Press, New-york, USA.

Bartle R., **1996**, Hearts, Clubs, Diamonds, Spades: Players Who Suit MUDs', *The Journal of Virtual Environments*, Volume 1, Issue 1.

Bartle R., **2003**, *Designing Virtual Worlds*, New Riders, Indianapolis, USA, ISBN 0131018167.

Baudel T., Beaudouin-Lafon M., **1993**, Charade: Remote control of objects using free-hand gestures, In *Communications of the ACM*, volume 36, Issue 7, pp. 28-35, ACM Press, New-York, USA.

Beaudouin-Lafon M., **2000**, Instrumental Interaction: An Interaction Model for Designing Post-WIMP User Interfaces, In *Proceedings of ACM Human Factors in Computing Systems (CHI 2000)*, CHI Letters Volume 2, Issue 1, pp. 446-453, ACM Press, New-York, USA.

Becker L.J., **1978**, Joint effect of feedback and goal setting on performance: a field study of residential energy conservation, In *Journal of applied psychology*, Volume 63, pp. 428-433, American Psychology Association, Washington D.C., USA, ISSN 1939-1854 (Electronic), 0021-9010 (Print).

Béguin P., Pastré, P., **2002**, Working, learning and designing through simulation, In Bagnara, S., Pozzi S., Rizzo A., Wright P. (Eds), *Proceedings of the 11th European Conference on Cognitive Ergonomics: cognition, culture and design (ECCE'02)*, pp. 5-13.

Benford S.D., Prinz W., Mariani J., Rodden T., Navarro L., Bignoli E., Brown C.G., Naslund T., **1992**, MOCCA - A Distributed Environment For Collaboration, Available from the MOCCA Working Group of Co-Tech, <https://swebok.org/csdl/mags/ds/2004/10/ox002.html>, page consultée le 08/04/14.

Benford S.D., Fahlén L.E., **1993**, A Spatial Model of Interaction in Large Virtual Environments, In *Proceedings of the Third European Conference on CSCW (ECSCW'93)*, Wolters Kluwer, The Netherlands.

- Berlyne** D.E., **1960**, *Conflict, Arousal, and Curiosity*, 350 p., McGraw Hill, New-York, USA, ISBN 0070048754.
- Bernsen** N.O., **1994**, Foundations of Multimodal representations, A taxonomy of representational modalities, In *Interacting with Computers*, Volume 6, Issue 4, pp. 347-371, Elsevier Science B.V., Amsterdam, The Netherlands.
- Béville** G., **1986**, *Jeux de formation*, 175 p., Les éditions d'organisation, Paris, France, ISBN 2212539371.
- Bicheno** J., **1995**, *The Buckingham lean game* (manual), PICSIE Associates, Buckinghamshire, United Kingdom.
- Billinghamurst** M., Kato H., **2002**, Collaborative Augmented Reality, In *Communications of the ACM*, Volume 45, No. 7, pp. 64-70, ACM Press, New-York, ISSN 0001-0782.
- Blizzard Entertainment**, **1999**, Starcraft, Jeux de stratégie temps-réel, accessible en ligne sur : <http://eu.blizzard.com/fr-fr/games/sc/>, page consultée le 19/04/2013.
- Blizzard Entertainment**, **2003**, World of Warcraft, Jeux de rôle massivement multi-joueurs, accessible en ligne sur : <http://eu.blizzard.com/fr-fr/games/wow/>, page consultée le 08/04/2014.
- Bloom** L., Engelhart M.D., Furst E.J., Hill W.H., Krathwohl D.R., **1956**, *Taxonomy of Educational Objectives: The classification of educational goals. Handbook I: Cognitive domain*, David McKay Company, New-York, USA - traduction française en 1975, *Taxonomie des objectifs pédagogiques*, Volume 1 : Domaine cognitif, Presses de l'Université du Québec, Québec, Canada, ISBN 0679302115.
- Borchers** J.O., **1997**, WorldBeat: designing a baton-based interface for an interactive music exhibit, In *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in computing systems (CHI'97)*, pp. 131-138, ACM Press, New-York, USA.
- Borriello** G., Deshpande N., **2002**, Location-Aware Computing: Creating Innovative and Profitable Applications and Services, In *Intel Developer Update Magazine*, pp. 1-6.
- Botte** B., Botte C., Sponsiello M., **2009**, Serious Games between simulation and game. A proposal of taxonomy, in *Journal of e-Learning and Knowledge Society*, Volume 5, Issue 2, pp. 11- 21.
- Brown** J. S., Collins A., Duguid P., **1989**, Situated Cognition and the Culture of Learning, In *Educational Researcher*, Volume 18, Issue 1, pp. 32-42, ISSN 0013-189X.
- Brown** P.J., **1996**, The Stick-E Document: A Framework for Creating Contexte-Aware Applications, In *Proceedings of Electronic Publishing (EP'96)*, pp. 259-272, Laxenburg, Austria.
- Brown** G., Bull J., Pendlebury M., **1997**, *Assessing student learning in higher education*, Psychology Press, London, United Kingdom, ISBN 0415162262.
- Brown** P.J., **1998**, Triggering Information by Context, In *Personal Technologies*, Volume 2, Issue 1, pp. 1-9.
- Bruner** J., **1972**, Nature and uses of immaturity, In *American Psychologist*, Volume 27, Issue 8, pp. 687-708.

Burckhardt J.M., 2003, Immersion, réalisme et présence dans la conception et l'évaluation des Environnements Virtuels, In *Psychologie Française*, Volume 48, Issue 2, pp. 35-42, Elsevier Masson, Issy-les-Moulineaux, France.

Buxton B., 2010, Microsoft Research, Video accessible en ligne sur : <http://channel9.msdn.com/posts/LarryLarsen/CES-2010-NUI-with-Bill-Buxton/>, page consultée le 12/06/2013.

Byun H.E., Cheverst K., 2004, Utilizing context history to provide dynamic adaptations, In *Applied Artificial Intelligence*, Volume 18, Issue 6, pp. 533–548.

C

Caillois R., 1958, *Les jeux et les hommes*, 306 p., Gallimard, Paris, France, ISBN 2-07-032672-1.

Calvary G., Coutaz J., Thevenin D., Limbourg Q., Bouillon L., Vanderdonck J., 2003, A Unifying Reference Framework for Multi-Target User Interfaces, In *Interacting with Computer*, Volume 15, Issue 3, pp. 289–308, ACM Press, New-York, USA.

Cameleon Project, 2004, *Cameleon reference framework*, Projet scientifique européen, disponible en ligne sur <http://giove.isti.cnr.it/cameleon.html>, page consultée le 15/04/2013.

Card S.K., Moran T.P., Newell A., 1983, *The psychology of human-computer interaction*, 488 p., Lawrence Erlbaum Associates, London, United Kingdom, ISBN 0898598591.

Caudell T., Mizell D., 1992, Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes, In *Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'92)*, Volume 2, pp. 659–669.

Casati R., Varzi A., 1999, *Parts and Places: The Structures of Spatial Representations*, 248 p., MIT Press, Cambridge, MA, USA, ISBN 0262517078.

Chalon R., 2004, *Réalité Mixte et Travail Collaboratif : IRVO, un modèle de l'Interaction Homme-Machine*, Thèse en informatique de l'École Centrale de Lyon, Lyon, France.

Chalon R., David B., 2005a, IRVO: an interaction model for designing collaborative mixed reality, In *Proceedings of the 11th Human-Computer Interaction International Conference (HCI'05)*, Springer-Verlag, Berlin, Germany.

Chalon R., David B., 2005b, Vidéo TableGate : une table de réalité mixte collaborative et ses applications, In *Proceedings of 17th international conference on Francophone sur l'Interaction Homme-Machine (IHM'05)*, pp. 347-348, Toulouse, France.

Chalon R., David B., Champalle O., 2006, Conception de Systèmes Portés et Collaboratifs supportant la Réalité Mixte. Application à des Activités de Maintenance et de Dépannage, In *Actes des Premières journées de l'AFRV*, Rocquencourt, France.

Champalle O., David B., Chalon R., Masserey G., 2006, Ordinateur porté support de réalité augmentée pour des activités de maintenance et de dépannage, In *Actes des troisièmes journées francophones Mobilité et ubiquité (Ubimob'06)*, Paris, France.

Christian J., Krieger H., Holzinger A., Behringer R., 2007, Virtual and Mixed Reality Interfaces for e-Training: Examples of Applications in Light Aircraft Maintenance, Universal Access in *Human-Computer Interaction, Applications and Services*, LNCS 4556, pp. 520-529, ISSN 0302-9743.

Clementini E., Laurini R., 2001, Un cadre conceptuel pour modéliser les relations spatiales, In *Revue des Nouvelles Technologies de l'Information (RNTI-E)*, Volume 14, pp. 1-17.

Cook D., 2006, What are game mechanics?, accessible en ligne sur : <http://lostgarden.com/2006/10/what-are-game-mechanics.html>, page visitée le 26/03/2013.

Cook S.W., Mitchell Z., Goldin-Meadow S., 2007, Gesturing makes learning last, In *Cognition*, Volume 106, Issue 2, pp. 1047-1058, Elsevier Press, New York, USA.

Coutaz J., 1987, PAC: an Implementation Model for Dialog Design, In Bullinger H.-J and Shackel, B. (Eds), *Proceedings of the Interact'87 conference*, pp. 431-436, Stuttgart, Germany.

Coutaz J., Nigay L., 2001, Architecture logicielle conceptuelle des systèmes interactifs. In : Kolski C. Eds, *Analyse et conception de l'IHM*, Chapitre 7, pp. 207-246, Hermès, Paris, France.

Coutaz J., Lachenal C., Dupuy-Chessa S., 2003, Ontology for multi-surface interaction, In *Proceedings of Interact 2003*, pp. 447-454.

Coutaz J., Crowley J.L., Dobson S., Garlan D., 2005, Context is key, *Communication of the ACM*, Volume 48, Issue 3, pp. 49-53, ACM Press, New-York, USA.

Coutaz J., 2006, Meta-User Interfaces for Ambient Spaces, Invited speaker in Tamodia 2006, Coninx K., Luyten K., Schneider K. (Eds.), Hasselt, Belgium, Springer, LNCS 4385, pp. 1-15, Berlin, Germany.

Coutrix C., 2007, Modèle d'interaction pour les systèmes mixtes, In *Actes (Doctoral Consortium) de la 19^{ième} conférence francophone sur l'Interaction Homme Machine (IHM'07)*, pp. 229-232, ACM Press.

Coutrix C., 2009, *Interface de réalité mixte : Conception et prototypage*, Thèse en informatique de l'université Joseph Fourier – Grenoble I, Grenoble, France.

Couture N., 2010, *Interaction Tangible, de l'incarnation physique des données vers l'interaction avec tout le corps*, Habilitation à diriger la recherche en en informatique, Université Bordeaux 1, Bordeaux, France.

Crawford C., 1982, *The Art Of Computer Game Design: Reflections Of A Master Game Designer*, Osborne/McGraw-Hill, New-York, USA, ISBN 0881341177.

Crawford C., 2003, *Chris Crawford on Game Design*, New Riders Games, ISBN 0131460994.

Crook C., 1998, Children as Computer Users: The Case of Collaborative Learning, *Computers Education*, Volume 30, Issue 3/4, pp. 237-247, Elsevier Press, New York, USA, ISSN 03601315.

Csikszentmihalyi M., 1990, *Flow: The Psychology of Optimal Experience*, Harper and Row, New-York, USA, ISBN 0061339202.

D

Daruwala Y., 2008, *A Constructive Memory Architecture for Context Awareness*, master thesis in philosophy of the University of Sydney, 157 p., Sydney, Australia.

David B., Chalon R., Delomier F., 2013, Supportive User Interfaces for MOCOCO (Mobile, Contextualized and Collaborative) Applications, in Kurosu M. (Ed.) *Human Computer Interaction International (HCII'13)*, pp. 29-38, *Human-Computer Interaction. Towards*

Intelligent and Implicit Interaction, LNCS 8008, Springer-Verlag, Berlin, Germany, ISBN 9783642393419

David B., 2001, IHM pour les collecticiels, *Réseaux et Systèmes Répartis*, Volume13, pp. 169-206, Hermès, Paris, France.

David B., Chalon R., Delotte O., Masserey G., Imbert M., **2006**, ORCHESTRA: formalism to express mobile cooperative applications, In *Proceedings of Human Computer Interaction International (HCI'06)*, LNCS 4154, Springer-Verlag, Berlin, Germany, ISBN 978-3-540-39591-1.

de Freitas S., Jarvis S., **2008**, Towards a development approach for serious games. In Connolly T. M., Stansfield M., and Boyle E. (Eds), *Games-based learning advancements for multi-sensory human-computer interfaces: Techniques and effective practices*, IGI Global, Hershey, PA, USA, ISBN 9781605663609.

de Freitas S., Oliver M., **2006**, How can exploratory learning with games and simulations within the curriculum be most effectively evaluated?, In *Computers and Education*, Volume 46, Issue 3, pp. 249-264.

Deci E. L., **1975**, *Intrinsic motivation*, 371 p., Plenum Press, New-York, USA, ISBN 0306420228, Japanese Edition, Tokyo: Seishin Shobo, 1980.

Delotte O., **2006**, *CoCSys : une approche basée sur la construction d'un modèle comportemental*, Thèse en informatique de l'Ecole Centrale de Lyon, Lyon, France.

Demeure A., Calvary G., **2002**, Jeu et Réalité Mixte: retours d'expérience, In *Proceedings of the 14th French-speaking conference on Human-computer interaction (IHM'02)*, pp. 89-96, ACM Press, Grenoble, France.

Deterding S., Dixon D., Khaled R., Nacke L., **2011**, From game design elements to gamefulness: defining gamification, In *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments (MindTrek '11)*, pp. 9-15, ACM, New-York, USA.

Dey A.K., **1998**, Context-Aware Computing: The CyberDesk Project, In *Proceedings of AAAI Spring Symposium*, Technical Report SS-98-02, pp. 51-54.

Dey A.K., Salber D., Abowd G.D., **1999**, A Context-based Infrastructure for Smart Environments, In *Proceedings of the 1st International Workshop on Managing Interactions in Smart Environments (MANSE '99)*, pp. 114-128.

Dey A.K., **2000**, *Providing Architectural Support for Building Context-Aware Applications*, Thèse de doctorat en informatique du Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA.

Dey A.K., **2001**, Understanding and Using Context, in *Personal and Ubiquitous Computing*, Volume 5, Issue 1, pp. 4-7, Springer-Verlag London, United Kingdom.

Dillenbourg P., **1999**, Introduction: What do you mean by collaborative learning?, In Dillenbourg P. (Ed), *Collaborative Learning: Cognitive and computational approaches*, pp. 1-19, Pergamon, Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands.

Djaouti D., Alvarez J., Jessel J.P., Methel G., **2007**, Towards a classification of Video Game, In *Proceedings of Artificial and Ambient Intelligence convention (AISB'07)*, Newcastle upon Tyne, United Kingdom.

Djaouti D., 2011, *Serious Game Design - Considérations théoriques et techniques sur la création de jeux vidéo à vocation utilitaire*, Thèse de doctorat en informatique, Université de Toulouse III - Paul Sabatier, Toulouse, France.

Doherty M., 2003, A software architecture for games, In *University of the Pacific Department of Computer Science Research and Project*, Volume 1, Issue 1.

Doise W., Mugny G., 1981, *Le Développement Social de l'intelligence*, InterEditions, Paris, France, ISBN 9782729600921.

Dourish P., 2001, *Where the Action Is: The Foundations of Embodied Interaction*, 245 p., MIT Press, Cambridge, USA, ISBN 0262541785.

Dourish P., 2004, What We Talk About When We Talk About Context, In *Personal and Ubiquitous Computing*, Volume 8, Issue 1, pp. 19-30.

Dubois E., Nigay L., Troccaz J., 2001, Consistency in Augmented Reality Systems, In *Proceedings of Engineering for Human Computer Interaction Conference (EHCI'01)*, pp. 117-130.

Dubois E., Gray P., Nigay L., 2002, ASUR++: A Design Notation for Mobile Mixed Systems, In *Human Computer Interaction with Mobile Devices*, pp. 123-139.

E

E-comm, *Environnement d'édition des modèles de tâches*, disponible en ligne sur <http://www.e-comm.fr.nf/>, page visitée le 08/04/14.

Edelman G., 1987, *Neuronal Darwinism: The Theory of Neuronal Group Selection*, 400 p., Basic Books, New-York, USA, ISBN 0-465-04934-6.

Edelman G., 1989, *The Remember Present: a Biological theory of Consciousness*, 368 p., Basic Books, New-York, USA, ISBN 046506910X.

Egenhofer M., Herring J., 1990, A Mathematical Framework for the Definition of Topological Relationships, In *Proceedings of the Fourth International Symposium on Spatial Data Handling (SDH)*, pp. 803-813, Zurich, Switzerland.

Electroserveur, 2013, *Serveur pour jeux multi-joueurs*, accessible en ligne sur : <http://www.electrotank.com/es5.html>, page visitée le 09/11/2013.

Ellis C.A., Gibbs S. J., Rein G., 1991, Groupware: some issues and experiences, In *Communications of the ACM*, Volume 34, Issue 1, pp. 39-58, ACM Press, New-York, USA.

Ellis C.A., Wainer J., 1994, A conceptual model of groupware, In *Proceedings of the ACM conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW '94)*, pp. 79-88, ACM Press, New-York, USA.

Emin V., 2010, *Modélisation dirigée par les intentions pour la conception, le partage et la réutilisation de scénarios pédagogiques*, Thèse de doctorat en informatique, Université de Grenoble, Grenoble, France

Egenfeldt-Nielsen, S., 2006, Overview of research on the educational use of video games, *Digital Kompetanse*, Volume 3, Issue 1, pp. 184-213.

Engeström Y., 1987, *Learning by expanding: An activity-theoretical approach to developmental research*, 368 p., Orienta-Konsultit Oy, Helsinki, Finland, ISBN 9519593322.

Engeström Y., 1992, Interactive expertise: Studies in distributed working intelligence, In *Research Bulletin 83*, Department of Education, University of Helsinki, Helsinki, Finland.

Engeström Y., 1999, Communication, Discourse and Activity, In *The Communication Review*, Volume 3, Issue 1-2, pp. 165-185.

Epic Entertainment, 1999, société d'édition du jeu Unreal Tournament, accessible en ligne sur : <http://epicgames.com/> , visitée le 08/04/14.

Ermine J.-L., 1996, *Les systèmes de connaissance*, Hermes, Paris, France, ISBN 2746201593.

Eustache F., Lechevalier B., Viader F., 2008, *Traité de neuropsychologie clinique*, In *Neurosciences et cognition*, 1024 p., De Boeck Supérieur, Bruxelles, Belgium, ISBN 2804156788.

F

Fenouillet F., 2009, Vers une approche intégrative des théories de la motivation, In Carré P., Fenouillet F. (Eds), *Traité de psychologie de la motivation*, pp. 305-338, Dunod, Paris, France, ISBN 2100515837.

Ferdinand P., Müller S., Ritschel T., Wechselberger U., 2005, The Eduventure-a new approach of digital game based learning combining virtual and mobile augmented reality games episodes, In *Pre-Conference Workshop "Game based Learning" of DeLFI 2005 and GMW 2005 Conference*, Volume 13.

Ferrière A., 1922, *L'école active*, 415 p., Forum, Genève, Suisse, réimprimé en 1953, Fabert, Paris, France, ISBN 2-907164-67-8.

Fishkin K.P., 2001, A taxonomy for and analysis of tangible interfaces, In *Personal and Ubiquitous Computing*, Volume 8, Issue 5, pp. 347-358, Springer-Verlag, Berlin, Germany, ISSN:1617-4909.

Fitzmaurice G.W., Ishii H., Buxton W., 1995, Bricks: Laying the foundations for Graspable User Interfaces, In *Proceedings of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'95)*, pp. 442-449, ACM Press, New-York, USA.

Fitzmaurice G.W., Buxton W., 1997, An empirical evaluation of graspable user interfaces: Towards specialized, space-multiplexed input, In *Proceedings of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'97)*, Volume 1 of PAPERS: Handy User Interfaces, pp. 43-50, ACM Press, New-York, USA.

Fjeld M., Voorhorst F., Bichsel M., Lauche K., Rauterberg M., Krueger H., 1999, Exploring Brick-Based Navigation and Composition in an Augmented Reality, In Gellersen H.-W. (Ed) *Handheld and Ubiquitous Computing*, LNCS 1707, pp. 102-116, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, Germany.

Fjeld M., Lauche K., Bichsel M., Voorhorst F., Krueger H., Rauterberg M., 2002, Physical and Virtual Tools: Activity Theory Applied to the Design of Groupware, In Nardi, B. A., Redmiles D. F. (Eds): *Activity Theory and the Practice of Design, Computer Supported Cooperative Work (CSCW'02)*, Volume 11, pp. 153-180, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.

Frei P., Su V., Mikhak B., Ishii H., 2000, Curlybot: designing a new class of computational toys, In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '00)*. ACM, New York, USA, pp. 129-136.

Fuchs Ph., Moreau G., Papin J.-P., 2001, *Le traité de la réalité virtuelle*, Volume 1, 380 p. Les Presses de L'École des Mines de Paris, Paris, France, ISBN 2911762622

G

Gagné R.M., 1985, *The conditions of learning and theory of instruction* (4th edition), 353 p., Holt, Rinehart et Winston, New-York, USA, ISBN 0030636884.

Gamboa-Rodriguez F., Scapin D. L., 1997, Editing MAD* task descriptions for specifying user interfaces, at both semantic and presentation levels, In *Proceedings of the 4th International Eurographics Workshop on Design, Specification, and Verification of Interactive Systems (DSV-IS'97)*, Granada, Spain.

Gamboa-Rodriguez F., 1998, *Spécification et implémentation d'ALACIE : Atelier Logiciel d'Aide à la Conception d'Interfaces Ergonomiques*, thèse de doctorat en informatique, Université Paris sud, Paris, France.

Game Maker, 1985, Usine à jeux, produit par Activision, disponible en ligne sur http://www.garrykitchen.com/product_history/garry_kitchens_gamemaker.html, page visitée le 10/08/2012.

Game Develop, Usine à jeu libre, disponible en ligne sur <http://www.en.compilgames.net/indexFR.html>, page visitée le 10/02/2013.

Gee J.P., 2003, *What Video Games Have to Teach us About Learning and Literacy*, 256 p., Palgrave Macmillan, New-York, NY, USA, ISBN 1403984530.

Gee J.P., 2005, Learning by Design: good video games as learning machines, In *E-Learning*, Volume 2, Issue 1, pp. 5-16.

Gibson J.J., 1977, The Theory of Affordances, In Shaw R., Bransford J. (Eds), *Perceiving, Acting, and Knowing, Towards an Ecological Psychology*, pp. 76-82, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, USA.

Giere R.N., 1991, *Understanding Scientific Reasoning*, Harcourt Brace Jovanovich, New York, USA.

Goldin-Meadow S., Cook S. W., Mitchell, Z. A., 2009, Gesturing gives children new ideas about math, In *Psychological Science*, Volume 20, pp. 267-272.

Goupil G., Lusignan G., 1993, *Apprentissage et enseignement en milieu scolaire*, Gaëtan Morin, Boucherville, Canada, ISBN 2-89105-516-0.

Granum E., Moeslund T.M., Stoerring M., Broll W., Wittkaemper M., 2003, Facilitating the presence of users and 3d models by the augmented round table, In *Proceedings of PRESENCE Conference*, Aalborg, Denmark.

Grasset R., Gascuel J.D., 2001, Environnement de Réalité Augmentée Collaboratif : Manipulation d'Objets Réels et Virtuels, In *Proceedings of 14èmes journées de Association Française d'Informatique Graphique (AFIG'01)*, pp. 101-102.

Grasset R., Lamb P., Billinghamurst M., 2005, Evaluation of Mixed-Space Collaboration, In *Proceedings of International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR'05)*, pp. 90-99, IEEE Computer Society, Washington D.C., USA.

Grasset R., Dünser A., Seichter A., Billinghamurst M., 2007, The Mixed Reality Book: A New Multimedia Reading Experience, In *Proceedings of Human Factors in Computers System*

(CHI'07), In CHI 2007 Extended Abstracts of the Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1953-1958, ACM Press, New-York, USA.

Greenberg S., 2001, Context as a dynamic construct, In *Human-Computer Interaction*, Volume 16, Issue 2, pp. 257-268, L. Erlbaum Associates Inc. Hillsdale, New Jersey, USA.

Greenberg S., Marquardt N., Ballendat T., Diaz-Marino R., Wang M., 2011, Proxemic interactions: the new ubicomp? In *Interactions*, Volume 18, Issue 1, pp. 42-50, ACM Press, New-York, USA.

Gregory J., Lander J., 2009, *Game Engine Architecture*, A K Peters, Ltd, Natick, MA, USA, ISBN 1568814135.

Grellier D., 2008, *Socio-anthropologie de l'imaginaire : les pratiques ludiques de simulation, Jeux vidéo, jeux de rôles, jeux de rôle en ligne massivement multi-joueurs*, Thèse de doctorat en sociologie de Université Montpellier III, Montpellier, France.

Gu T., Wang X.H, Pung H.K., Zhang D.Q., 2004, An Ontology Based Context Model in Intelligent Environments, In *Proceedings of Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation Conference (CNDS'04)*, pp. 270-275, Society for Modeling and Simulation International, San Diego, USA.

H

Habermeier K., 1990, Product use and product improvement, In *Research policy*, Volume 19, pp. 271-283.

Habgood M.P.J., Ainsworth, S., & Benford, S., 2005, Endogenous fantasy and learning in digital games, In *Simulation and Gaming*, Volume 36, Issue 4, pp. 483-498.

Habgood M.P.J., 2007, *The effective integration of digital games and learning content*, Thèse de doctorat en informatique de l'université de Nottingham, Nottingham, United Kingdom.

Hall E.T., 1966, *The Hidden Dimension*, 240 p., Anchor Books, New-York, USA, ISBN 0385084765.

Hansen J.Y., 2005, Low-Cost Multi-Touch Sensing through Frustrated Total Internal Reflection, In *Proceedings of the 18th ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'05)*, pp. 115-118, ACM Press, New-York, USA.

Hays R.T., 2005, The effectiveness of instructional games: a literature review and discussion, In *Technical Report 2005–2004 for the Naval Air Center Training Systems Division*, Orlando, USA.

Hazas M., Scott J., and Krumm J., 2004, Location-Aware Computing Comes of Age, In *Computer*, Volume 37, Issue 2, IEEE Computer Society, Washington D.C., USA.

Herrington J., Oliver R., 2000, An instructional design framework for authentic learning environments, In *Educational Technology Research and Development*, Volume 48, Issue 3, pp. 23-48, Springer-Verlag, Berlin, Germany.

Hodhod R., Kudenko D., Cairns P., 2009, AEINS: Adaptive Educational Interactive Narrative System to Teach Ethics, In *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence in Education (AIED) Workshop on Intelligent Educational Games*, pp. 79-88.

Hong J.-Y., Suh E.-H., Kim S.-J., 2009, Context-Aware Systems: A Literature Review and Classification, In *Journal of Expert Systems with Applications*, pp. 8509-8522, Pergamon Press Inc., Tarrytown, New-York, USA.

Hornecker E., Buur J., **2006**, Getting a grip on tangible interaction: a framework on physical space and social interaction, In *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Science (CHI'06)*, pp. 437-446, ACM Press, New-York, USA.

Hornecker E., Marshall P., Rogers Y., **2007**, Entry and Access – How Shareability Comes About, In *Proceedings of the conference on Designing pleasurable products and interfaces (DPPI'07)*, pp. 328-342, ACM Press, New-York, USA.

Hornecker E., Marshall P., Dalton N.S., Rogers Y., **2008**, Collaboration and Interference: Awareness with Mice or Touch Input, In *Proceedings of the ACM Conference on Collaborative Supported Computer Work (CSCW'08)*, pp. 167-176, ACM Press, New-York, USA.

Hull R., Neaves P., Bedford-Roberts J., **1997**, Towards Situated Computing, In *Proceedings of the 1st International Symposium on Wearable Computers (ISWC 1997)*, pp. 146-153, IEEE Computer Society, Washington D.C., USA.

Hunick R., LeBlanc M., Zubek R., **2004**, MDA: A Formal Approach to Game Design and Game Research, In *Proceedings of the Challenges in Games AI Workshop, Nineteenth National Conference of Artificial Intelligence (AAAI-04)*, pp. 1-5, AAAI Press / The MIT Press, Cambridge, USA

Hutchins E., **1995**, *Cognition in the Wild*, MIT Press, Cambridge, USA.

I

Imbert M., **2006**, *Étude d'un ensemble de services Logiciels réutilisables adaptés au développement de logiciels collaboratifs en environnement mobile*, mémoire CNAM LYON en informatique, Ecole Centrale de Lyon, Lyon, France.

IMS-LD, **2003**, IMS Global Consortium, disponible en ligne sur <http://www.imsglobal.org/learningdesign/index.html>, page visitée le 08/04/14.

Ishii H., Ren S., Frei P., **2001**, Pinwheels: visualizing information flow in an architectural space, In *Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '01)*, pp. 111-112, ACM Press, New-York, USA.

Ishii H., **2008**, Tangible Bits: Beyond Pixels, In *Proceedings of the Second International Conference on Tangible and Embedded Interaction (TEI'08)*, ACM Press, New-York.

Ishii H., Ullmer B., **1997**, Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms, In *Proceedings of the ACM Conference Human factors in computing systems (CHI '97)*, pp. 170-177, ACM Press, New-York, USA.

Ishikawa T., Montello D.R., **2006**, Spatial knowledge acquisition from direct experience in the environment: Individual differences in the development of metric knowledge and the integration of separately learned places, In *Cognitive Psychology*, Volume 52, Issue 2, pp. 93-129, Elsevier Press, New York, USA.

ISO 7498-1:1994, **1994**, *Information Technology : Open System Interconnection – Basic Reference Model*, disponible en ligne sur : http://www.iso.org/iso/fr/catalogue_detail.htm?csnumber=20269, page consultée le 08/04/14.

Ittelson W.H., Proshansky H.M., Rivlin L.G., Winkel G.H., **1974**, *An introduction to environmental psychology*, Holt, Rinehart and Winston, New-York, USA.

J

Jacob R.J.K., Girouard A., Hirshfield L.M., Horn M.S., Shaer O., Solovey E.T., Zigelbaum J., **2008**, Reality-based interaction: a framework for post-WIMP interfaces, In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '08)*, pp. 201-210, ACM Press, New York, USA.

Jermann P., Soller A., Lesgold A., **2004**, Computer Software Support for Collaborative Learning, In Strijbos J.-W., Kirschner P. and Martens R. (Eds), *What We Know About CSCL in Higher Education*, Kluwer, Amsterdam, The Netherlands.

Jiménez-Díaz G., Gómez-Albarrán M., González-Calero P.A., **2007**, Pass the ball: game-based learning of software design, In Rauterberg M., and Nakatsu R. (Eds), *Proceedings of the 6th international conference on Entertainment Computing (ICEC'07)*, pp. 49-54, Ma L., Springer-Verlag, Berlin, Germany.

John B.E., Kieras D.E., **1996**, The GOMS family of User Interface analysis techniques, Comparison and contrast, In *ACM Transactions on Computer Human Interaction (TOCHI)*, Volume 3, pp. 321-351, ACM Press, New-York, USA.

Johnson D., Johnson R., **1994**, *Learning together and alone, cooperative, competitive, and individualistic learning*, 260 p., Needham Heights, MA, Prentice-Hall, New Jersey, USA.

Jordà S., Kaltenbrunner M., Geiger G., Bencina R., **2005**, The reactTable*. (The Reactable's official presentation, at the International Computer Music Conference (ICMC) in Barcelona.

Jordà S., Geiger G., Alonso M., Kaltenbrunner M., **2007**, The reactTable: exploring the synergy between live music performance and tabletop tangible interfaces, In *Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction (TEI '07)*, pp. 139-146, ACM Press, New York, USA, ISBN 9781595936196.

Jourde F., **2011**, *Collecticiel et Multimodalité : spécification de l'interaction, la notation COMM et l'éditeur e-COMM*, Thèse en informatique, Université de Grenoble, Grenoble, France.

Juul A., **2005**, *Half-real: Video Games between Real Rules and Fictional Worlds*, 248 p., MIT Press, Cambridge, USA, ISBN 0262516519.

K

Takehi Y., Jo K., **2008**, ForceTile: tabletop tangible interface with vision-based force distribution sensing, In *Proceedings of International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH'2008)*, Article 17, ACM Press, New-York, USA.

Kaltenbrunner M., Bencina R., **2007**, reactIVision: a computer-vision framework for table-based tangible interaction, In *Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction (TEI'07)*, pp. 69-74, ACM Press, New-York, USA.

Kaltenbrunner M., Bovermann T., Bencina R., Costanza E., **2005**, TUIO: A protocol for table-top tangible user interfaces, In *Proceedings of the 6th International Workshop on Gesture in Human-Computer Interaction and Simulation (GW'05)*, Vannes, France.

Kaltenbrunner M., Jordà S., Geiger G., Alonso A., **2006**, The reacTable: A Collaborative Musical Instrument, In *Proceedings of the Workshop on Tangible Interaction in Collaborative Environments (TICE)*, at the 15th International IEEE Workshops on Enabling Technologies (WETICE'06), Manchester, United Kingdom.

Kienzl T., Marsche U., **2008**, Tangible workbench TW: with changeable markers, In *Proceedings of International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH'08)*, Article 37, ACM Press, New-York, USA.

Kiyokawa K., Takemura H., Yokoya N., **1999**, SeamlessDesign: A Face-to-face Collaborative Virtual/Augmented Environment for Rapid Prototyping of geometrically constrained 3-D Objects, In *Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS)*, pp. 447-453, Volume II, IEEE Computer Society, Washington D.C., USA.

Klein G., and Murray D., **2007**, Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces, In *Proceedings of International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR'07)*, pp. 1-10, IEEE Computer Society, Washington D.C., USA.

Kohler W., **1917**, *Intelligenzprüfungen an Anthropoiden*, Royal Prussian Society of Sciences, Berlin, Germany, traduit en anglais, *The Mentality of Apes*, 1925, 342 p., Kegan Paul, London, United Kingdom, ISBN 041520979X.

Kolb D. A., **1984**, *Experiential Learning - Experience as the source of learning and development*, 288 p., Englewoods Cliffs, Prentice-Hall, New Jersey, USA, ISBN 0132952610.

Kubicki S., Lepreux S., Kolski C., **2009**, TangiSense: présentation d'une table interactive avec technologie RFID permettant la manipulation d'objets Tangibles et Traçables, In *Proceedings of the 21st International Conference on Association Francophone d'Interaction Homme-Machine (IHM'09)*, pp. 351-354, ACM Press, Grenoble.

Kumar J. M., Herger M., **2013**, *Gamification at Work: Designing Engaging Business Software*, The Interaction Design Foundation, 168 p., Aarhus, Denmark, ISBN 8792964079.

L

Lautenschutz A.K., Davies C., Raubal M., Schwering A., Pederson E., **2007**, The influence of scale, context and spatial preposition in linguistic topology, In *Proceedings of the 5th International Conference on Spatial Cognition*, pp. 439-452, LNCS 4387, Springer, Berlin, Germany.

Lave J., Wenger E., **1991**, *Situated Learning. Legitimate peripheral participation*, University of Cambridge Press, 138 p., Cambridge, USA, ISBN 0521423740.

Leikin R., Zaslavsky O., **1997**, Facilitating students' interactions in mathematics in a cooperative learning setting, In *Journal for Research in Mathematics Education*, Volume 28, Issue 3, pp. 331-354.

Leitner J., **2008**, IncreTable, a mixed reality tabletop game experience, In *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE08)*, pp. 9-16, ACM New York, USA.

Lenhardt V., **2002**, Enjeux de la formation au coaching, In *Responsable Porteur de sens* (annexe), 440 p., Insep Editions, Paris, France, ISBN 2914006241.

Léontiev A.N., **1977**, Деятельность. Сознание. Личность – publié en 1984 en français : *Activité, conscience, personnalité*, Édition du Progrès, 365 p., ASIN: B004QCX29O.

Lepetit V., Fua P., **2006**, Keypoint Recognition Using Randomized Trees, in *Pattern Analysis Machine Intelligence, IEEE Transaction*, Volume 28, Issue 9, pp. 1465-1479, IEEE Computer Society, Washington D.C., USA.

Lepper M.R., Malone T.W., **1987**, Intrinsic motivation and instructional effectiveness in computer-based education, In Snow R. E., Farr M. J. (Eds), *Aptitude, learning, and instruction, Volume 3, Cognitive and affective Process Analyses (Aptitude, learning, & instruction)*, pp. 255-286, Hillsdale, Erlbaum, New Jersey, USA.

Lerusalimschy R., de Figueiredo L.H., Celes W., **1996**, *Lua - an extensible extension language, Software: Practice & Experience*, Volume 26, Issue 6, pp. 635–652, John Wiley & Sons, Inc. New York, USA.

Lerusalimschy R., de Figueiredo L.H., Celes W., **2006**, *Lua 5.1 Reference Manual*, publisher: lua.org, ISBN 8590379833.

Linard M., **2002**, Conception de dispositifs et changement de paradigme en formation, In *Education Permanente*, Volume 152, Regards multiples sur les nouveaux dispositifs de formation, pp. 143-155.

Liu W., Cheek A.D., Mei-Ling C., Theng Y.L., **2007**, Mixed reality classroom: learning for entertainment, In *Proceedings of the 2nd international conference on Digital interactive media in entertainment and arts (DIMEA'07)*, pp. 65-72, ACM Press, New-york, USA.

Locke J., **1693**, *Some Thoughts Concerning Education*, The Harvard Classics, P.F. Collier & Son, New York , USA.

M

Mackay W.E., Velay G., Carter K., Ma C., Pagani D., **1993**, Augmenting reality: adding computational dimensions to paper, In *Communications of the ACM*, Special issue on computer augmented environments: back to the real world, Volume 36, Issue 7, pp. 96-97, ACM Press, New-York, USA.

Mackay W.E., **1998**, Augmented Reality: Linking real and virtual worlds A new paradigm for interacting with computers, In *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces (AVI'98)*, pp. 13-21, ACM Press, New-york, USA.

Malone T.W., **1980**, What makes things fun to learn? heuristics for designing instructional computer games, In *Proceedings of the 3rd ACM SIGSMALL symposium and the first SIGPC symposium on Small systems (SIGSMALL '80)*, pp. 162-169, ACM, New-York, USA.

Malone T.W., Lepper M., **1987**, Making learning fun: A taxonomy of intrinsic motivations of learning, pp. 223-253, In R. E. Snowet M. J. Farr (Eds), *Aptitude, learning, and instruction: Volume 3. Conative and affective process analysis*, 370 p., Hillsdale, New-Jersey, USA, ISBN 0898597218.

Marescaux J., Soler L., Rubino F., **2005**, Augmented Reality for Surgery and Interventional Therapy, In *Operative Techniques in General Surgery*, Volume 7, Issue 4, pp. 182-187.

Marfisi-Schottman I., George S., Tarpin-Bernard F., **2010**, Tools and Methods for Efficiently Designing Serious Games, In *Proceedings of the 4th European Conference of Game Based*

Learning (EC-GBL'10), pp. 226–234, Academic Conferences and Publishing International Limited, London, United Kingdom.

Marfisi-Schottman I., 2012, *Méthodologie, modèles et outils pour la conception de Learning Games*, Thèse de doctorat en informatique de l'INSA de Lyon, Lyon, France.

Mariais C., Michau F., Pernin J.P., 2010, The use of Game Principles in the Design of Learning Role-Playing Game Scenarios, In *Proceedings of the 4th European Conference of Game Based Learning* (EC-GBL'10), pp. 462-469, Academic Conferences and Publishing International Limited, London, United Kingdom.

Mariais C., Dupin C., 2010, *Le Serious Game Session : les ressorts de jeu au service du présentiel*, présentation effectuée lors du Serious Game Expo, Lyon, France.

Mariais C., Michau F., Pernin J.-P., Mandran N., 2011, Supporting Learning Role-Play Games Design: A Methodology and Visual Formalism for Scenarios Description, In *Proceedings of the 5th European Conference on Games Based Learning* (EC-GBL'11), pp. 378–387, Academic Conferences and Publishing International Limited, London, United Kingdom.

Mariais C., 2012, *Modèles pour la conception de Learning Role-Playing Games en formation professionnelle*, Thèse en Ingénierie de la Cognition, de l'interaction, de l'Apprentissage et de la création de l'Université de Grenoble, Grenoble, France.

Martel C., Vignollet L., Ferraris C., 2005, LDL : un langage support à la scénarisation pédagogique, In *Actes du colloque Scénariser l'enseignement et l'apprentissage : une nouvelle compétence pour le praticien ?*, organisé dans le cadre de la 8^{ème} Biennale de l'Education, pp. 51-57, Lyon, France, SIBN : 2-7342-1061-4.

Mazalek A., van den Hoven E., 2009, Framing tangible interaction frameworks, In *Proceedings of Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* (AIEDAM'09), Volume 23, Issue 3, pp. 225-235, Cambridge University Press, New-York, USA.

McShaffry M., Graham D., 2012, *Game Coding Complete*, Course Technology PTR, 4th edition, 960 p., ISBN 1133776574.

Meshview, outil de CAO, disponible en ligne au : <http://mview.sourceforge.net/>, visitée le 15 décembre 2013.

Milgram P., Kishino F., 1994, A taxonomy of mixed reality visual displays, *IEICE Transactions on information Systems*, Volume E77-D, No.12, pp. 1321-1329.

Minier P., 2003, *Ancrage historique et développement des courants de pensée de l'apprentissage*, accessible en ligne sur : <http://wwwens.ugac.ca/~pminier/act1/graph1.htm>, page visitée le 08/04/14.

Montessori M., 1957, *The Human Tendencies and Montessori Education*, Montessori international Association, Amsterdam, The Netherlands.

Moran T., Dourish P., 2001, Context-Aware Computing: A Special Issue of Human Computer Interaction, In *Human Computer Interaction*, Volume 16, Issue 2-4, ACM Press, New-York, USA.

Mori G., Paternò F., Santoro C., 2002, CTTE: support for developing and analyzing task models for interactive system design, In *Software engineering*, Volume 28, Issue 8, pp. 797-813, IEEE Press Piscataway, New Jersey, USA.

Moser G., Weiss K., 2003, *Espaces de vies. Aspects de la relation homme-environnement*, 396 p., Armand Colin, Collection Sociétales, Paris, France, ISBN 2200261705.

Muchielli A., 2003, *Les motivations*, Presse Universitaire de France, Paris, France, ISBN 9782130506041.

N

Naidu S., Oliver M., Koronios A.P., 1999, Clinical Decision Making in Nursing: A Case-Based Reasoning Architecture, In *Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications*, pp. 692-697, Association for the Advancement of Computing In Education (AACE), Chesapeake, USA.

NF X35-102, 1998, *Conception ergonomique des espaces de travail en bureaux*, Document unique d'évaluation des risques professionnels et aménagement des bureaux, AFNOR Edition, Paris, France.

NF X35-104, 2008, *Sécurité des machines - Prescriptions anthropométriques relatives à la conception des postes de travail sur les machines, Postures et dimensions pour l'homme au travail sur machines et appareils*, AFNOR Edition, Paris, France.

Nigay L., 1994, *Conception et modélisation logicielles des systèmes interactifs : application aux interfaces multimodales*, Thèse en informatique de l'université de Grenoble, 315 p., Grenoble, France.

Nonaka I., Takeuchi H., 1995, *The knowledge creating company: how Japanese companies create the dynamics of innovation*, 298 p., Oxford University Press, New-York, USA, ISBN 0195092694.

Norman D., 1986, Cognitive Engineering In User Centered System Design, *New Perspectives on Human-Computer Interaction*, pp. 31-61, Lawrence Erlbaum Associates, London, United Kingdom.

Norman D., 1988, *The Design of Everyday Things*, 288 p., Doubleday Currency, New-York, USA, ISBN 9780465067107.

Normand V., 1992, *Le modèle Siroco : de la spécification conceptuelle des interfaces utilisateur à leur réalisation*, thèse en informatique de l'Université Joseph Fourier, Grenoble, France.

O

O'Neill K., de Paor A., MacLachlan M., McDarby G., 2003, An Investigation into the performance of a Virtual Mirror Box for the treatment of Phantom Limb Pain in Amputees using Augmented Reality Technology, In Stephanidis C. (Ed), *Proceedings of Human Computer Interaction International (HCI'03)*, Volume 4, pp. 236-240, Lawrence Erlbaum Associates, London, United Kingdom.

Oliver J., 2008, Levelhead, Jeu d'énigme en réalité augmentée, accessible en ligne sur : <http://selectparks.net/~julian/levelhead/>, 2008, page visitée le 25/11/2012.

Orliac C., George S., Michel C., Prévot P., 2011, Can we use Existing Pedagogical Specifications to Design Mixed Reality ?, In *Proceedings of the 5th European Conference on Games Based Learning (EC-GBL'11)*, p. 440-448, Academic Conferences and Publishing International Limited, London, United Kingdom.

Ott R., Thalmann D., Vexo F., 2007, Haptic feedback in mixed-reality environment, In *The visual computer*, Volume 23, Issue 9, pp. 843-849, Springer-Verlag, Berlin, Germany.

Ouadou K., 1994, *AMF : Un modèle d'architecture multi-agents multi-facettes pour Interfaces Homme-Machine et les outils associés*, Thèse en informatique de l'école Centrale de Lyon, 210 p., Lyon, France.

Ozuysal M., Fua P., Lepetit V., 2007, Fast Keypoint Recognition in Ten Lines of Code, In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'07)*, pp. 1-8, IEEE Computer Society, Washington D.C., USA.

P

Pallof R.M., Pratt K., 2001, *Lessons from the cyberspace classroom*, 204 p., Josey-Bass, San Francisco, USA ISBN 0787955191.

Paquette G., Aubin C., Crevier F., 1999, MISA: A knowledge-based method for the engineering of learning systems, In *Journal of Courseware Engineering*, Volume 2.

Paquette G., Lundgren-Cayrol K., Léonard M., 2008, The MOT+ Visual Language for Knowledge-Based Instructional Design, In Botturi L. and Stubbs T. (Eds), *Handbook of Visual Languages for Instructional Design Languages – Theories and Practices*, Chapitre VIII, IGI Global, Hershey, USA.

Pardew L., Pugh S., Nunamaker E., Iverson B. L., Wolfley R., 2004, *Game Design for Teens*, première édition, 300 p., Premier Press, Portland, USA, ISBN 1592004962.

Park M., Schmidt L., Schlick C., Luczak H., 2007, Design and evaluation of an augmented reality welding helmet, In *Human Factors and ergonomics in manufacturing*, Volume 17, Issue 4, pp. 317-330.

Parlett D., 2005, RULES OK or Hoyle on troubled waters, A paper presented at the Board Games Studies Conference, Oxford, accessible en ligne sur : <http://davidparlett.co.uk/gamester/rulesOK.html>, page visitée le 13/11/2013.

Pascoe J., 1998, Adding Generic Contextual Capabilities to Wearable Computers, In *Proceedings of the 2nd International Symposium on Wearable Computers (WW'98)*, pp. 92-99.

Paternò F., Mancini C., Meniconi S., 1997, ConcurTaskTrees: A Diagrammatic Notation for Specifying Task Models, In *Proceedings of the 13 International Conference on Human Computer Interaction, IFIP TC*, pp. 362-369, Chapman et Hall, London, United Kingdom.

Paternò F., Faconti G., 1992, On the use of LOTOS to describe graphical interaction, In *Proceedings of the Conference on People and Computers VII, Graphics - Design and Techniques (HCI'92)*, pp. 155-173.

Paternò F., Ballardini G., Mancini C., 1999, Modelling Multi-User Tasks, In *Human-Computer Interaction*, Volume 1, pp. 1088-1092.

Perkins D., 1993, Person-plus: A distributed view of thinking and learning, In G. Salomon (Ed), *Distributed cognitions: Psychological and educational considerations*, pp. 88-110, Cambridge University Press, Cambridge, USA, ISBN 0521574234.

Perret-Clermont A.N., 1979, *La construction de l'intelligence dans l'interaction sociale*, Exploration, 244 p., Peter Lang, Bern, Switzerland, ISBN 326104666X.

Perry J., Klopfer E., Norton M., 2008, AR gone wild: two approaches to using augmented reality learning games in Zoos, In *Proceedings of the 8th international Conference on the*

Learning Sciences (CLS'08), Volume 3, pp. 322-329, International Society of the Learning Sciences, Utrecht, The Netherlands.

Peterson C., Maier S. F., Seligman M.E.P., **1993**, *Learned Helplessness: A theory for the age of personal control*, 376 p., Oxford University Press, New-York, USA, ISBN 0195044673.

Pfaff G., Hagen. P., **1985**, *Seeheim, Workshop on User Interface Management Systems*, Springer-Verlag, Berlin, Germany.

Piaget J., **1975**, *Les mécanismes perceptifs : Modèles probabilistes, analyse génétique, relations avec l'intelligence*, 457 p., Presse Universitaire de France, Paris, France, ISBN 2130455883.

Piersky W., Thomas B., **2002**, ARQuake: the outdoor augmented reality gaming system, *Communications of the ACM, Internet abuse in the workplace and Game engines in scientific research*, Volume 45, Issue 5, ACM Press, New-York, USA.

Plummer J., **2004**, *A Flexible and expandable architecture for computer games*, Thèse de doctorat en informatique de l'université d'Arizona, Phoenix, USA.

Prensky M., **2001**, *Digital Games Based Learning*, 460 p., McGraw-Hill, New-York, USA, ISBN 1557788634.

R

Rabardel P., **1995**, *Les Hommes et les technologies une approche cognitive des instruments contemporains*, Armand Colin, Paris, France, ISBN 220021569X.

Raynal F., Rieunier A., **1997**, *Pédagogie : Dictionnaire des concepts clés, Collection Pédagogie*, 542 p., ESF Editeur, Paris, France, ISBN 2710124246.

Reason J.T., **1990**, *Human Error*, 320 p., Cambridge University Press, New York , USA, ISBN 0521314194.

Rekimoto J., Nagao K., **1995**, The World through the Computer: Computer Augmented Interaction with Real World Environments, In *Proceedings of User Interface and Software Technology (UIST'95)*, pp. 29-36, ACM Press, New-York, USA.

Renavier P., **2004**, *Systèmes Mixtes Collaboratifs sur Supports Mobiles : Conception et Réalisation*, Thèse de doctorat en informatique, 220 p., Université Joseph Fourier, Grenoble, France.

Renavier P., Nigay L., **2004**, A design notation for mobile collaborative mixed systems, In *Proceedings of the 1st French-speaking conference on Mobility and ubiquity computing (UbiMob'04)*, pp. 66-73, ACM Press, New-York, USA.

Rieber L. P., **1996**, Seriously considering play: Designing interactive learning environments based on the blending of microworlds, simulations, and games, In *Educational Technology Research et Development*, Volume 44, Issue 2, pp. 43-58, Springer, Berlin, Germany.

Robinson J. A., Robertson C., **2001**, The LivePaper system: augmenting paper on an enhanced tabletop, In *Computer and Graphics*, Volume 25, Issue 5, pp. 731-743, Elsevier Science B.V., Amsterdam, The Netherlands.

Rogers Y., 1993, Coordinating computer-mediated work, In *Proceedings of Computer-Supported Cooperative Work (CSCW'93)*, Volume 1, Issue 4, pp. 295-315, Kluwer Academic Publishers, Amsterdam, The Netherlands.

Rogers Y., Ellis, J., 1994, Distributed Cognition: an alternative framework for analysing and explaining collaborative working, In *Information Technology*, Volume 9, Issue 2, pp. 119-128.

Rosenberg N., 1982, *Inside the Black Box: Technology and Economics*, 304 p., Cambridge University Press, Cambridge, USA, ISBN 0521273676.

Rouillard J., Peter Y., Tarby J.C., Vantrois T., Chevrin V., 2008, Supporting Mobile Connectivity: from Learning Scenarios to Multichannel Devices, In *International Journal of Continuing Engineering Education and Life-Long Learning (IJCEELL)*, Volume 18, Issue 4, pp. 396-410.

Ruben B. D., 1999, Simulations, games, and experience-based learning: The quest for a new paradigm for teaching and learning, In *Simulation and Gaming*, Volume 30, Issue 4, pp. 498-505.

Ryan N.S., Pascoe J. Morse, D.R., 1997, Enhanced Reality Fieldwork : the Context-Aware Archeological Assistant, In Gaffney V., van Leusen M., Exxon S. (Eds), *Computer Applications in Archaeology*, pp. 34-45, Archaeopress, Oxford, England.

Ryan R. M., Deci E. L., 2000, Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions, In *Contemporary Educational Psychology*, Volume 25, pp. 54-67.

S

Salber D., 1995, *De l'interaction homme-machine individuelle aux systèmes multi-utilisateurs : l'exemple de la communication homme-homme médiatisée*, Thèse en informatique de l'université de Grenoble, Grenoble, France.

Salen K., Zimmerman E., 2003, *Rules of Play: Game Design Fundamentals*, 672 p., The MIT Press, Cambridge, USA, ISBN 0262240459.

Samaan K., Tarpin-Bernard F., 2004, The AMF Architecture in a Multiple User Interface Generation Process, In Luyten K., Abrams M., Vanderdonckt J. and Limbourg Q. (Eds), *Proceedings of the ACM Workshop on Developing User Interfaces with XML: Advances on User Interface Description Languages (AVI'2004)*, pp. 71-78, Gallipoli, Italy.

Sato K., Lim Y.-K., 2000, Physical Interaction and Multi-Aspect Representation for Information Intensive Environments, In *Proceedings of IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN'00)*, Osaka, Japan, pp. 436-443.

Sauer F., 2002, An augmented reality navigation system with a single-camera tracker: System design and needle biopsy phantom trial, In *Proceedings of the 5th International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI2002)*, LNCS 2489, Springer, Berlin, Germany.

Scapin D.L., Pierret-Goldbreich C., 1990, Towards a method for task description: MAD, In Berlinguet L., Berthelette D. (Eds), *Work with display units 89*, Elsevier Science Publisher, Berlin, Germany.

Schank R.C., 1990, *Tell me a story: A new look at real and artificial memory*, 253 p., Charles Scribner, New-York, USA, ISBN 0684190494.

- Schank** R.C., Cleary C., **1995**, *Engines for Education*, Associates Publishing, Hillsdale, New Jersey, USA, ISBN 0805819452.
- Schank** R.C., **1997**, *Virtual learning: A revolutionary approach to building a highly skilled workforce*, 212 p., McGraw-Hill, New-York, USA, ISBN 0786311487.
- Scherrer** C., Pilet J., Lepetit V., Fua P., **2008**, Souvenir du monde des montagnes, In *Leonardo Music Journal*, Volume 42, Issue 4, pp. 350-355, MIT Press, Cambridge, USA.
- Schilit** B.N., Theimer M., **1994**, Disseminating Active Map Information to Mobile Hosts, *IEEE Network*, Volume 8, Issue 5, pp. 22-32.
- Schilit** B.N., Hilbert D.M., Trevor J., **2002**, Context-aware communication, In *IEEE Wireless Communications*, Volume 9, Issue 5, pp. 46 -54.
- Schoggen** P., **1989**, *Behavior Settings: A revision and extension of Roger G. Barker's Excological Psychology*, 436 p., Stanford University Press, Stanford, USA.
- Schrier** K., **2006**, Using augmented reality games to teach 21st century skills, In *Proceedings of ACM SIGGRAPH 2006 Educators program (SIGGRAPH'06)*, article 15, ACM Press, New-York, USA.
- Schubert** M., George S., Serna A., **2012**, Exploring the Potential of Tabletops for Collaborative Learning, In *Proceedings of the 11th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS'2012)*, pp. 632-633, LNCS 7315, Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Serres** M., **2007**, Les nouvelles technologies : révolution culturelle et cognitive, Présentation faite au 40 ans de l'INRIA, vidéo disponible en ligne sur : https://interstices.info/jcms/c_33030/les-nouvelles-technologies-revolution-culturelle-et-cognitive, vidéo consultée le 30 mai 2013.
- Shannon** C.E., Weaver W., **1949**, *The Mathematical Theory of Communication*, Univesity of Illinois Press, USA, ISBN 0252725484.
- Shneiderman** B., **1983**, Direct manipulation: a step beyond programming languages, *IEEE Computer*, Volume 16, Issue 8, pp. 57-69.
- Sicart** M., **2008**, Defining Game Mechanics, *Game Studies*, Volume 8, Issue 2.
- Skinner** B.F., **1968**, *The technology of teaching*, Meredith Corporation, New-York, USA, ISBN 158390025X, Traduction française parue en 1969 : *La révolution scientifique de l'enseignement*, Charles Dessart, Bruxelles, Belgique, ISBN 2870090285.
- Smith** T.E., Roland C.C., Havens M.D., Hoyt J.A., **1992**, *The theory and practice of challenge education*, Kendall-Hunt, Dubuque, USA, ISBN 0840380429.
- Sommer** R., **1965**, Further studies of small group ecology, In *Sociometry*, Volume 28, pp. 337-348.
- Sottet** J.S., Calvary G., Favre J.M., Coutaz J., **2007**, Megamodeling and Metamodel-Driven Engineering for Plastic User Interfaces: Mega-UI, In Seffah A., Vanderdonckt J. (Eds), *CHISE book II*, Springer HCI series, Berlin, Germany.
- Starnner** T., Mann S., Rhodes B., Levine J., Healey J., Kirsch D., Picard R. W., Pentland A., **1997**, Augmented reality through wearable computing, In *Presence*, Volume 6, Issue 4, pp. 386-398, MIT Press, Cambridge, USA, ISSN:1054-7460.

Stedmon, A.W., Stone, R., **2001**, Re-viewing reality: human factors issues in synthetic training environments, *In International Journal of Human Computer Studies*, Volume 55, pp. 675–698.

Steuer J., **1992**, Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence, *In Journal of Communication*, Volume 42, Issue 4, pp. 73-93, John Wiley & Sons, ISSN 1460-2466.

Stevens L.E., Fiske S.T., **1995**, *Motivation and cognition in social life: a social survival perspective*, *Social Cognition*, Volume 13, pp. 189–214.

Stewart J., Bederson B., et Druin A., **1999**, Single Display Groupware: A Model for Co-present Collaboration, *In Proceedings of Human factors in computing systems (CHI'99)*, ACM Press, New-York, USA.

Stifelman L. J., **1996**, Augmenting Real-World Objects: A paper-based Audio Notebook, *In Proceedings of Conference on Human factors in computing systems (HCI'96)*, pp. 199-200, ACM Press, New-York, USA, ISBN 0897918320.

Strang H. R., Lawrence E. C., Fowler P. C., **1978**, Effects of assigned goal level and knowledge of results on arithmetic compensation: A laboratory study, *In Journal of Applied Psychology*, Volume 63, pp. 446-450, American Psychological Association, Washington D.C., USA.

Susi T., Johannesson M., Backlund P., **2007**, *Serious games – An overview*, Technical Report. University of Skövde: School of Humanities and Informatics, Skövde, Sweden.

T

Tarpin-Bernard F., **1997**, *Travail coopératif synchrone assisté par ordinateur : Approche AMF-C.*, 158 p., Thèse de doctorat en informatique de l'Ecole Centrale de Lyon, Lyon, France.

Tarpin-Bernard F., David B., **1999**, AMF : un modèle d'architecture multi-agents multi-facettes. *Techniques et Sciences Informatiques*, Hermès, Paris, France, Volume 18, Issue 5, pp. 555-586.

Thomas R., Rivolier J., Missoum G., **1987**, *La psychologie du sport de haut niveau*, Presse Universitaire de France, Paris, France, ISBN 9782130398424.

Toupin L., **1995**, *De la formation au métier : savoir transférer ses connaissances dans l'action*, 205 p., ESF édition, Paris, France, ISBN 271011125X.

Trevisan D.G., Gemo M., Vanderdonckt J., Macq B., **2004**, Focus-based design of mixed reality systems, *In Proceedings of the 3rd annual conference on Task models and diagrams (TAMODIA '04)*, pp. 59-66, ACM Press, New York, USA.

Tulving E., **1983**, *Elements of Episodic Memory*, Oxford University Press, New-York, USA, ISBN 0198521022.

Tulving E., **1995**, Organization of memory: quo vadis? *In Gazzaniga M.S. (Ed), The cognitive neurosciences*, pp. 839-847, MIT Press, Cambridge, USA.

U

UIMS, **1992**, A metamodel for the runtime architecture of an interactive system, *ACM SIGCHI Bulletin*, Volume 24, Issue 1, pp. 32-37.

Ullmer B., Ishii H., **2000**, Emerging Frameworks for Tangible User Interfaces, *In IBM Systems Journal*, Volume 39, Issue 3-4, pp. 915-931, IBM Corp. Riverton, USA.

Ullmer B., Ishii H., 2001, Emerging Frameworks for Tangible User Interfaces, In Carroll J. M. (Ed) *HCI in the New Millenium*, pp. 579-601, Addison-Wesley, Boston, USA.

Ullmer B., Sankaran R., Jandhyala S., Tregre B., Toole C., Kallakuri K., Laan C., Hess M., Harhad F., Wiggins U., and Sun S., 2008, Tangible Menus and Interaction Trays: Core tangibles for common physical/digital activities, In *Proceedings of Tangible and Embedded Interaction Conference (TEI'08)*, pp. 209-212, ACM Press, New-York, USA.

V

Vadcard L., Luengo V., Tonetti J., Mufti-Alchawafa D., Merloz Ph., 2004, Le projet TELEOS : Technological Enhanced Learning Environment for Orthopaedic Surgery, In *Congrès Internet et Pédagogie Médicale (IPM)*, Grenoble, France.

van Eck R., 2006, Building intelligent learning games, In Gibson D., Aldrich C., et Prensky M. (Eds) *Games and simulations in online learning: Research et development frameworks*, Idea Group, Hershey, USA, ISBN 9781599043043.

Vanderdonckt J. M., Bodart F., 1993, Encapsulating Knowledge for Intelligent Automatic Interaction Object Selection, In *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems (INTERCHI'93)*, pp. 424-429, ACM Press, New-York, USA.

Varela F. J., Thompson E. T., Rosch E., 1992, *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*, The MIT Press, Cambridge, USA, ISBN 0-262-72021-3, publié en français : *L'inscription corporelle de l'esprit*, 1993, Le Seuil, Paris, France.

Vogel D. and Balakrishnan R., 2004, Interactive public ambient displays: transitioning from implicit to explicit, public to personal, interaction with multiple users, In *Proceedings of User Interface and Software Technology (UIST'04)*, pp. 137-146, ACM Press, New-York, USA.

von Hippel E., Tyre M., 1996, The Mechanics of Learning by Doing: Problem Discovery During Process Machine Use, In *Technology and Culture*, Volume 37, Issue 2, pp. 312-329.

Vygotsky L.S., 1934, *Мышление и речь* – traduit en français : *Pensée et langage*, 1985, Edition sociales, Paris, France, ISBN 2843030048.

Vygotsky L.S., 1978, *Mind in Society: Development of Higher Psychological Processes*, 174 p., Harvard University Press, Cambridge, USA, ISBN 0674576292.

W

Wagner D., Istvan B., 2003, Augmented Reality Kanji Learning, In *Proceedings of the 2nd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR'03)*, pp. 335-336, IEEE Computer Society, Washington D.C., USA, ISBN 0769520065.

Watson J.B., 1913, Psychology as the behaviorist views it? In *Psychological Review*, Volume 20, pp. 158-177.

Weiser M.D., 1991, The Computer for the 21st Century, In *Scientific American Special Issue on Communications, Computers, and Networks*, Scientific American Inc.

Weiss M., Wagner J., Jansen Y., Jennings R., Khoshabeh R., Hollan J.D., Borchers J., 2009, SLAP widgets: bridging the gap between virtual and physical controls on tabletops, In *Proceedings of the 27th international conference on Human factors in computing systems (CHI '09)*, pp. 481-490, ACM, New-York, NY, USA.

Wellner P., 1993, Interacting with Paper on the DigitalDesk. In *Communications of the ACM*, Volume 36, Issue 7, pp. 86-96, ACM Press, New-York, USA.

Wellner P., Mackay W., Gold R., 1993, Computer Augmented Environments: Back to the Real World. Special Issue of *Communications of the ACM*, Volume 36, Issue 7, ACM Press, New-York, USA.

Wertsch, J. V., 1981, *The Concept of Activity in Soviet Psychology*, 456 p., M.E. Sharpe, New-York, USA, ISBN 0873321588.

Westera W., Nadolski R.J., Hummel H.G.K., Woperels I.G.J.H., 2008, Serious games for higher education: a framework for reducing design complexity, In *Journal of Computer Assisted Learning*, Volume 24, pp. 420–432.

Witowski R., 1997, *Analyse du travail et production de compétences collectives*, 240 p., L'Harmattan, Action et Savoir, Paris, France, ISBN 2-7384-5179-9.

Wobbrock J.O., Wilson A.D., Li Y., 2007, Gestures without libraries, toolkits or training: A \$1 recognizer for user interface prototypes, In *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '07)*, pp. 159-168, ACM Press, New-York.

Wright T.P., 1936, Factors Affecting the Cost of Airplanes, In *Journal of Aeronautical Sciences*, Volume 3, Issue 4, pp. 122-128.

Wright M., Freed A., Momeni A., 2003, Opensound control: State of the art, In *Proceedings of International Conference on New Interfaces for Musical Expression Conference (NIME'03)*, pp. 153–160.

Y

Yannakakis G.N., 2004, *Synthetic Creatures with Learning and Reactive Behaviors*, 768 p., New Riders Publishing, New York, USA, ISBN 1592730043.

Yurén T., 2000, *Quelle éthique en formation ?*, L'Harmattan, Paris, France, ISBN 2738492894.

Z

Zhong X., Liu P., Georganas N., Boulanger P., 2003, Designing a vision-based collaborative augmented reality application for industrial training, In *it-Information Technology*, Volume 45, pp. 7-18.

Zichermann O., 2011, *Gamification by Design*, O'Reilly Media, New-York, USA, ISBN 1449397670.

Zimmerman H., 1980, OSI Reference Model--The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection, In *IEEE Communications Magazine*, Volume 28, Issue 4, pp. 425-432, IEEE Communications Society, Washington, USA.

Zuckerman O., Arida S., Resnick M., 2005, Extending Tangible Interfaces for Education: Digital Montessori-Inspired Manipulatives, In *Proceedings of SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'05)*, pp. 859-868, ACM Press, New-York, USA.

Annexe I : Modèles d'activités collaboratives

■ Les modèles comportementalistes

Les modèles comportementalistes utilisent un point de vue moteur pour décrire une tâche donnée, le stade élémentaire est atteint au niveau de **l'action motrice**, qui peut être considérée comme une procédure indivisible, automatisée et inconsciente, faite par l'utilisateur, qui implique l'utilisation de fonctions motrices pour agir sur des entités (physiques ou numériques) de l'environnement.

Dès qu'il est question de préciser le contenu de cette tâche, on formule une **procédure**, définissant un ordonnancement des différentes opérations, passant de l'abstrait au concret. Cette description met en valeur un enchaînement de tâches unitaires (ou élémentaires) génériques qui est indépendant de la tâche et de l'environnement de réalisation de cette tâche.

La réalisation d'une tâche se base sur une relation entre plusieurs acteurs : l'utilisateur, l'objet du domaine de la tâche et un outil permettant sa modification.

□ Le modèle MAD*

MAD* (MAD STAR) (Gamboia et al., 1997) (Modèle Analytique de Description de tâches orienté vers la spécification d'interface), évolution de MAD (Scapin et al., 1990), propose une décomposition hiérarchique des tâches. Il permet :

- Une modélisation proche de la représentation de la tâche dans l'esprit de l'utilisateur ;
- La prise en compte des distinctions entre aspects conceptuels et sémantiques ;
- une structuration hiérarchique uniforme ;
- la réalisation d'un modèle à partir de description de l'état des différents objets (déclaratifs) ou à partir des procédures qui visent à atteindre ces états (procéduraux).
- la synchronisation des tâches.

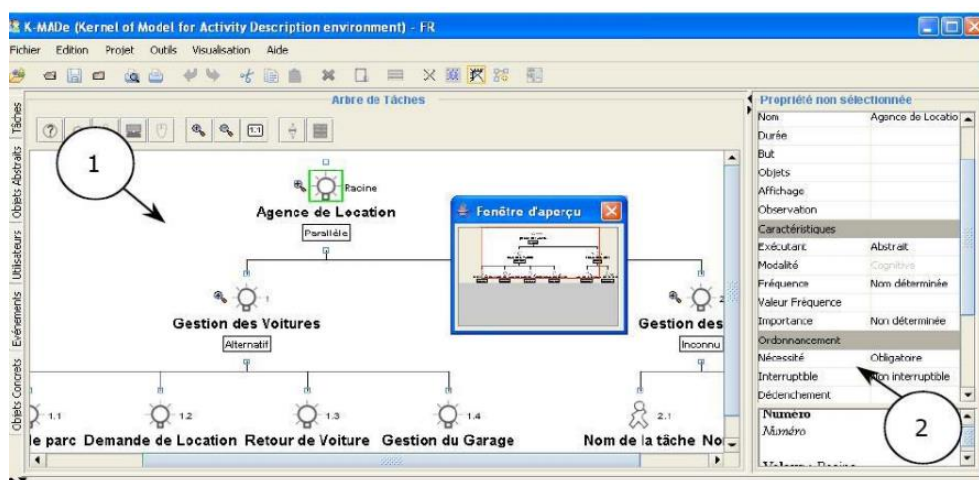


Figure 248 : L'outil K-MAD (Baron, 2006)

Plusieurs environnements existent pour modéliser des tâches basé sur le formalisme MAD ou MAD* : ALACIE (Gamboa, 1998), IMAD (Gamboa et al., 1997) et K-MAD (Baron, 2006) (Figure 248).

□ Le modèle COMM

Le modèle COMM (Figure 249) a été proposé pour pallier les lacunes dans la description des caractéristiques multimodales d'un environnement de travail. Le modèle se présente comme une extension de CTT (Paternò et al., 1997) en introduisant le concept de tâche modale comme une interaction concrète élémentaire réalisée dans un mode spécifique et donc dépendant des périphériques. COMM possède son environnement : e-COMM, pour pouvoir éditer et analyser des modèles de tâche, afin d'aider la conception d'applications interactives basées sur les usages.

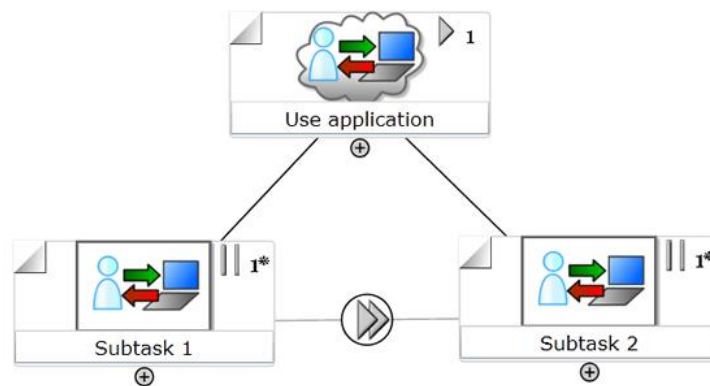


Figure 249 : Modèle de tâches utilisant COMM (Jourde, 2011)

Dans ce modèle, la décomposition considère au même moment l'aspect collaboratif et la forme (multimodale) de l'IHM. Il ne nous semble pas opportun de conjuguer ces types d'aspects car la collaboration est plus fonctionnelle et l'IHM plus dépendante du contexte.

■ Les modèles se basant sur « la théorie de l'activité »

□ Le modèle SRK

Le modèle SRK, créé par Rasmussen (Rasmussen, 1979) (Rasmussen, 1982) (Rasmussen, 1987) et Reason (Reason, 1990) propose trois niveaux de régulation cognitive, qui peuvent être activés simultanément (Figure 250). En fonction de la complexité de l'action à réaliser, l'utilisateur peut se trouver à un niveau d'abstraction supérieure, mais aura une charge cognitive utilisée plus importante.

- Le niveau 1 permet une action déterminée par des automatismes, ces derniers étant obtenus par l'entraînement ;
- Le niveau 2 concerne la prise en compte de règles heuristiques basées sur l'expérience de manière à trouver la meilleure stratégie ;
- Le niveau 3 concerne la prise en compte de connaissances explicites, pour prendre en compte les buts.

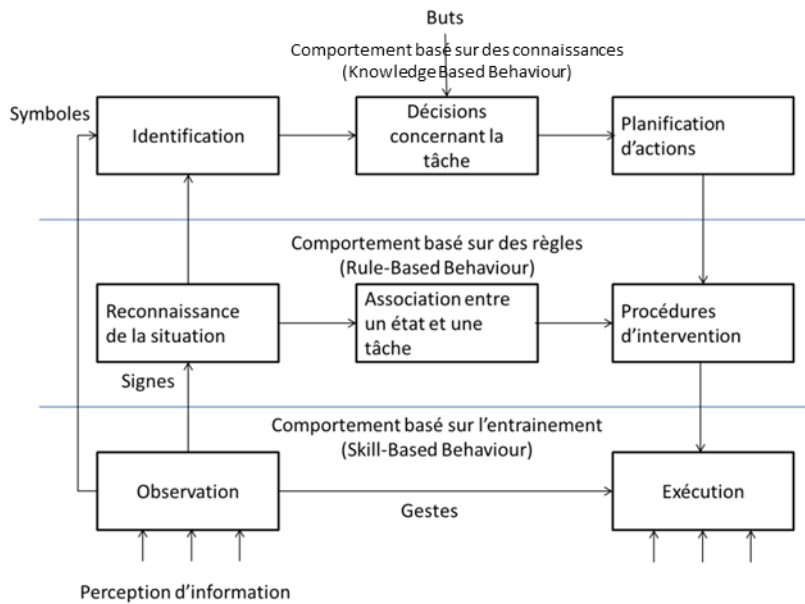


Figure 250 : Modèle SRK de Rasmussen

Les comportements basés sur la connaissance sont des comportements adaptés à une situation inhabituelle, lorsqu'aucune règle d'usage n'est connue par l'utilisateur pour gérer la situation.

Les comportements basés sur les règles sont des comportements adaptés à une situation où l'on connaît une relation de cause à effet adaptable au contexte : Dans la situation actuelle, avec le problème actuel, alors il faut faire de cette façon.

Les comportements basés sur l'entraînement sont des gestes automatisés, qui demandent un niveau de conscience très faible.

□ **Le modèle GEMS**

Generic Error Modeling System (GEMS) (adapté de Reason, 1990) (Figure 251) s'est appuyé sur la théorie de l'activité et la modélisation de l'activité de planification pour proposer son modèle. Cette méthode se base sur les facteurs cognitifs comme base de la réalisation de la tâche : par exemple, en fonction de la familiarité de la tâche, le modèle n'utilisera pas le même chemin pour atteindre le but. Ce modèle est centré sur les erreurs potentielles de l'utilisateur.

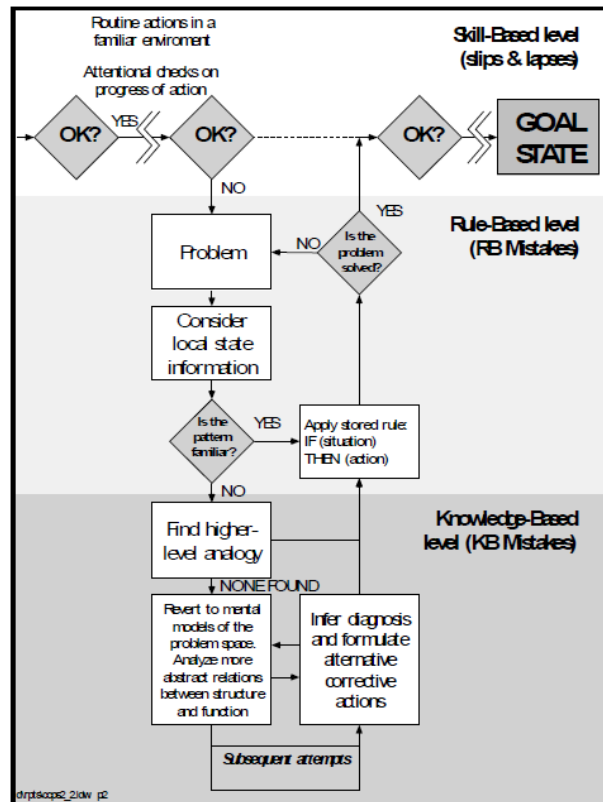


Figure 251 : Dynamique du modèle GEMS (Reason, 1990)

Ce modèle, bien que plus complexe, permet de mettre en valeur plusieurs stratégies pour réaliser la tâche en fonction de la connaissance des utilisateurs. Soit l'utilisateur sait comment réaliser l'action et l'exécute sans grand coût cognitif, soit il a déjà vécu une situation proche de celle-ci et essaie d'appliquer cette même solution. S'il n'a aucune expérience pour la réalisation de la tâche en cours, il se basera alors sur ses connaissances pour inférer une action qui lui semble être en accord avec le problème.

Dans ce modèle, trois types d'erreurs, associées aux trois niveaux d'activités cognitives proposées sont mis en avant :

- Les ratés et lapsus, qui correspondent à une différence entre les gestes automatiques désirés et ceux produits (il en existe deux sous-types : les erreurs d'inattention et celles d'attention excessive) ;
- La mauvaise application des règles (qui comporte deux sous-types : mauvaise application de règles correctes et bonne application de règles erronées) ;
- Les erreurs basées sur des connaissances erronées.

■ Les modèles « cognitivistes »

Contrairement aux modèles « comportementalistes », les modèles « cognitivistes » se basent sur les processus cognitifs associés à la tâche pour la représenter. Une tâche interactive va être décrite en utilisant des éléments associés aux commandes machine, puis en termes de processus cognitifs associés qui correspondent aux actions utilisateurs.

Le modèle GOMS, créé par (Card et al., 1983) décrit l'activité de l'utilisateur sous forme de But, Opération, Méthode et règles de Sélection (Goal, Operator, Method, Selector) (Figure

252). Ce modèle a été créé dans un but d'évaluation de la tâche utilisateur. Il permet de caractériser l'activité grâce à un but à atteindre (Goal), d'opérations élémentaires (Operator), de méthodes d'ordonnancement des opérations élémentaires (Méthods) et de règles de sélection des méthodes. Les méthodes sont appelées pour pouvoir réaliser les sous-buts et structurer les différents enchainements de la tâche. Lorsqu'il y a plus d'une méthode pour accomplir un but, les règles de sélection permettent de définir la méthode la plus appropriée en fonction du contexte. Dans GOMS, il existe une distinction claire entre les tâches et les actions. La décomposition en tâche s'arrête au niveau d'une tâche élémentaire. On fait alors appel aux actions selon une manière décrite dans la méthode associée à la tâche élémentaire. La modélisation de l'action dépend du modèle GOMS utilisé.

Plusieurs variantes de ce modèle (John et al., 1996) ont été créées pour mieux répondre à certains besoins des concepteurs : NGOMS et CPM-GOMS pour les versions étendues et KLM pour la version simplifiée. KLM (Keystroke Level Model) est un formalisme décrivant l'activité de l'utilisateur par les opérations qu'il fait sur les touches d'un clavier. Ce modèle est initialement conçu pour estimer les temps nécessaires pour réaliser la tâche en question. NGOMS et CPM-GOMS sont quant à eux, des modèles décrivant l'activité selon une décomposition hiérarchique des opérations à réaliser.

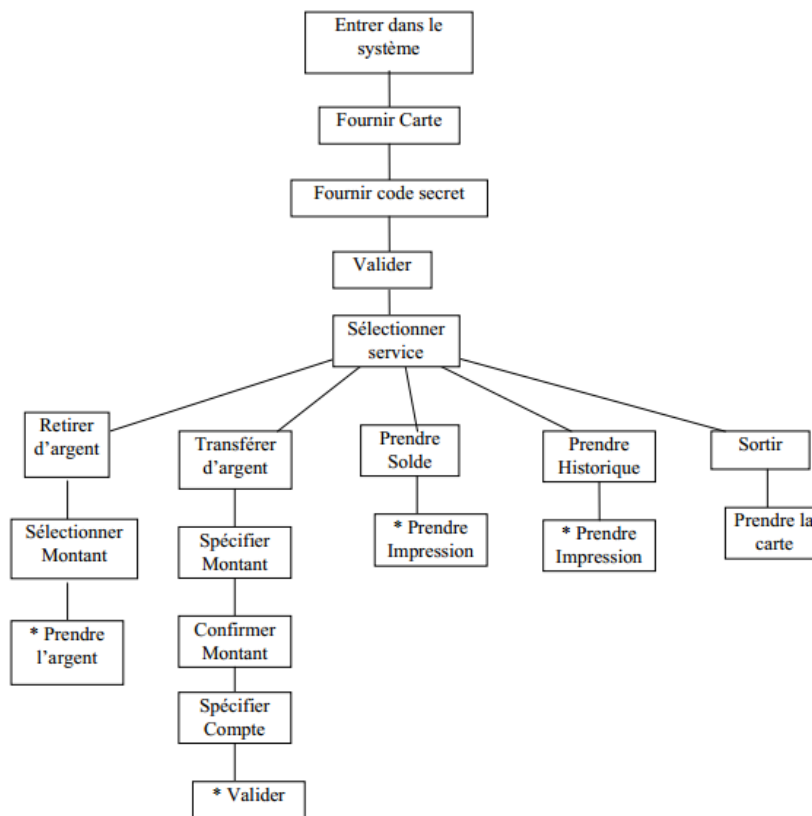


Figure 252 : Un modèle d'activités de retrait d'argent utilisant GOMS

Annexe 2 : Modèles d'architecture de systèmes interactifs

L'évolution des dimensions interactives et collaboratives des systèmes informatiques augmente grandement la complexité, et donc le temps et le coût de réalisation d'une application. La systématisation de la structure des systèmes et la modélisation de ce même système est une manière pour limiter ces augmentations de coûts.

Les modèles d'architecture de systèmes partent du principe qu'un logiciel est décomposé en une partie interactive et une partie fonctionnelle. Cette dernière est souvent appelée noyau fonctionnel et tout ce qui s'y réfère appartient au domaine de l'application. Le noyau fonctionnel est considéré comme préexistant et les modèles de systèmes interactifs décrivent essentiellement la partie interface, ainsi que ses relations avec les objets du domaine.

Les modèles d'architecture sont utilisables comme structure architecturale d'une application, qui peut être définie comme un ensemble organisé de composants, utilisant à la fois des composants et des connecteurs pour décrire les interactions entre les différents composants.

Trois types de modèles ont vus le jour dans les trente dernières années en ingénierie des interactions hommes-machines :

- les modèles en couche ;
- les modèles en agent ;
- les modèles hybrides multicouches et multi-agent.

Ces modèles correspondent à deux approches, une qui s'intéresse à la manière dont un système est conçu et une qui s'intéresse à la manière dont il est réalisé. La troisième exprime les deux logiques de structuration en même temps.

Le travail de recherche dans les domaines de la modélisation des systèmes est donc des plus importants pour produire des systèmes utilisables.

■ Modèle d'architecture de systèmes mixtes

Le fait de décrire les architectures des systèmes mixtes permet une description symbolique et schématique des différents composants de l'application supportant des interfaces tangibles.

□ La solution d'Ullmer

Le modèle d'architecture mixte « Model-Control-Representation - intangible and tangible » (MCR-it) a été proposé par Ullmer (Ullmer et al., 2000) (Ullmer, 2008). MCR-it (Figure 253) est une extension de MVC. Bien que Ullmer ne le présente originellement pas comme un modèle d'architecture, ni comme une méthode de conception, il est toujours possible de s'inspirer de cette décomposition comme d'un moyen de prendre en compte les interfaces tangibles. De cette manière, une partie associée à la représentation tangible communique à la fois avec le modèle et la vue.

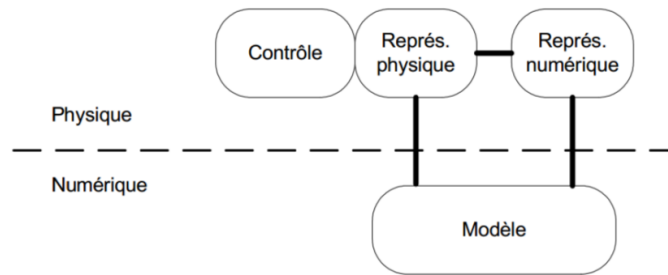


Figure 253 : Modélisation architecturale de (Ullmer, 2000)

L'élément Vue de MVC est décomposé en deux:

- Les *représentations tangibles* pour les artefacts constituant les éléments physiques des interfaces tangibles,
- Les *représentations numériques* pour les éléments des interfaces représentés numériquement.

□ La solution de Dubois

La spécificité des interfaces utilisateurs en réalité mixte réside dans leur possibilité de prendre en compte, du moins en partie, des composantes du monde physique et de les associer à des entités numériques. Dubois (Dubois et al., 2001) propose d'utiliser PAC-AMODEUS (Coutaz et al., 2001) pour la conception de systèmes mixtes en dédoublant les couches de présentation (les interfaces utilisateurs) pour permettre l'utilisation des ensembles des dispositifs de présentation (Figure 254).

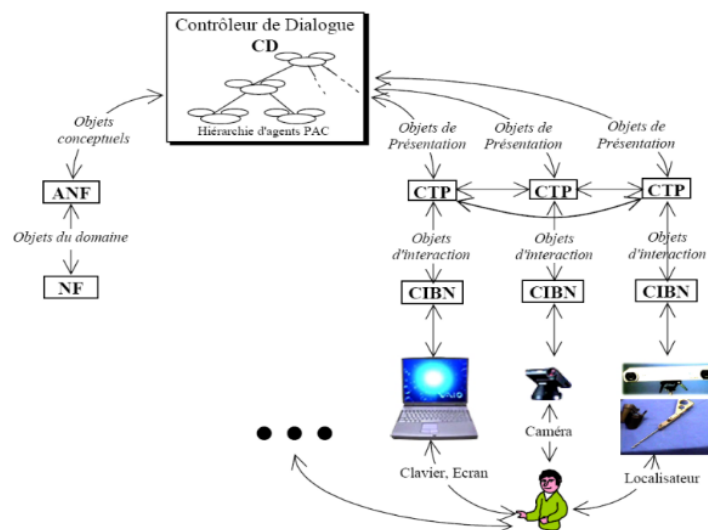


Figure 254 : Spécialisation des IHM en réalité mixte (Dubois et al., 2001).

L'idée est donc de permettre, au niveau des interfaces abstraites, de répliquer les couches « Composant Technique de Présentation » (CTP) et « Composant d'Interaction de Bas Niveau » (CIBN) de la présentation, afin d'avoir une indépendance vis-à-vis des dispositifs d'interaction et les outils disponibles pour s'interfacer avec le contrôleur.

Dans cette manière de faire, la communication entre les différents CTP peut se faire sans passer par le contrôleur de dialogue (et donc encore moins en passant par le noyau fonctionnel). Ce choix est discutable, car il peut permettre des incohérences entre la

présentation et l'abstraction, néanmoins il permet d'avoir un temps d'accès plus rapide au retour d'action de l'information.

■ Modèles d'architectures de systèmes contextualisés

Étudions également quelques exemples représentatifs d'architectures de systèmes contextualisés. Ces architectures sont conçues soit pour supporter la contextualisation dans des scénarios concrets. La comparaison de ces architectures nous a aidés à concevoir notre architecture (VI.2) adaptée à nos besoins.

□ Architecture contextuelle de Coutaz

Une des possibilités pour prendre en compte le contexte informatiquement s'appuie sur le modèle conceptuel en couches comme celui de (Coutaz et al., 2005) (Figure 255). Son modèle propose différentes couches correspondant au niveau d'abstraction et de prise en compte du contexte :

- capture d'observables ;
- transformation en observables symboliques ;
- identification de la situation ;
- exploitation.

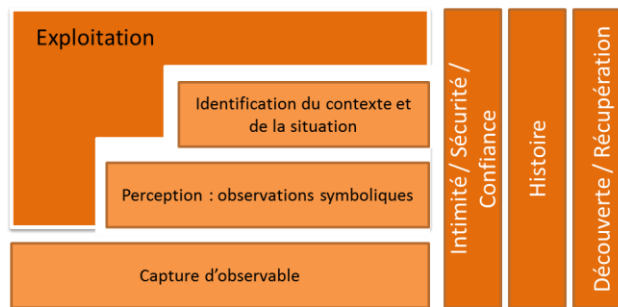


Figure 255 : Niveaux d'abstraction utilisables dans les systèmes contextualisés (Coutaz et al., 2005)

□ Architecture en couches de Hong

Hong (Hong, et al., 2009) propose une architecture contextualisée (Figure 256) pour permettre une exploration de nombreux prototypes, systèmes, et applications contextualisés.

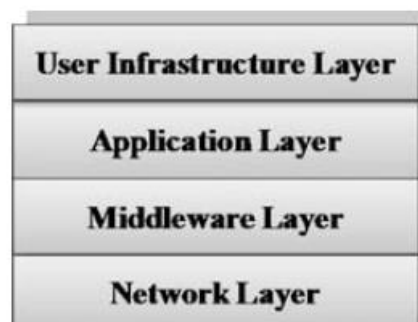


Figure 256 : Couches des systèmes contextualisés (Hong et al., 2009)

Cette architecture consiste en quatre couches :

- **la couche réseau** qui implique un réseau supportant la contextualisation, et des capteurs collectant les informations contextuelles ;
- **la couche middleware** (intergiciel) qui gère des processus et stocke les informations contextuelles ;
- **la couche application** qui fournit aux utilisateurs des services appropriés ;
- **la couche interface** utilisateur qui gère l'interface du système et fournit aux utilisateurs l'interface appropriée.

La **couche réseau** concerne la capture des informations contextuelles, les exigences de réseau, l'implantation de réseau, les protocoles de réseau. Cette couche est responsable de la capture, l'abstraction, et l'acquisition des informations contextuelles de la situation. Dans l'implantation d'un système contextualisé, l'utilisation des données capturées par les capteurs est un principe de base pour comprendre la situation présente.

La couche middleware collecte et traite les informations contextuelles, et en tire des informations contextuelles utiles. Un système contextualisé doit avoir l'appui de middleware pour fournir des services appropriés. Le middleware permet aux agents d'acquérir des informations contextuelles facilement, de les analyser avec des logiques différentes et ensuite de les adapter aux changements de contextes. Il y a beaucoup de types de middleware.

La couche application fournit aux utilisateurs des services appropriés. Il y a beaucoup d'applications contextualisées qui offrent aux utilisateurs des environnements contextualisés comme la maison, l'hôpital, la salle de cours, l'usine, le musée, etc. Les applications comportent aussi des systèmes de support d'aide à la décision, des systèmes de communication comme les services de réseaux sociaux, M-commerce, service web, etc.

La couche infrastructure d'utilisateur gère l'interface du système et fournit aux utilisateurs l'interface appropriée. Les utilisateurs avec leurs dispositifs se déplacent continuellement dans plusieurs contextes ou environnements. Un système contextualisé souffre des contraintes de petit écran. La recherche d'interface utilisateur (UI) et de l'utilisabilité de dispositifs mobiles est donc à effectuer. En considérant l'émergence d'environnements de l'informatique mobile et de l'informatique ubiquitaire, il faut des recherches sur l'Interaction Homme-Machine (IHM), la modélisation de l'utilisateur, l'adaptation du contenu sur les petites surfaces d'affichage comme PDA, smartphone ou téléphone mobile. La plasticité des IHM s'attaque à ce problème important.

□ Architecture en couches de Daruwala

Daruwala (Daruwala, 2008) propose une architecture en couches de contextualisation (Figure 257). Son architecture est partiellement similaire à l'architecture proposée par (Hong et al., 2008), mais elle met en évidence une couche appelée « *Constructive Memory Query Layer* », qui vise à construire et à garder des descriptions de contextes déjà rencontrés et de faciliter ainsi leur réutilisation. Le système stocke et gère des contextes rencontrés. Quand survient une nouvelle situation, le système peut non seulement rappeler un contexte existant dans le répertoire de contextes, mais aussi construire un nouveau contexte avec les contextes existants dont les descriptions sont similaires.

La couche découverte de contexte est responsable d'acquisition d'informations contextuelles à partir des senseurs physiques et logiques. Les données capturées traversent

une chaîne de composants comme l'interpréteur, l'assembleur, etc., avant d'arriver à la couche réception de contexte.

La couche réception de contexte construit une interface entre la couche découverte de contexte et la couche gestion de contexte. Elle est conçue pour assurer la traduction entre les composants de la couche inférieure (l'interpréteur, l'assembleur) et les composants de la réception de contexte qui doivent intégrer les informations contextuelles qui viennent de sources variées, et qui nécessitent parfois une résolution de conflit.

La couche gestion de contexte consiste en un dépôt des informations contextuelles qui servent aux applications contextualisées. Chaque application peut avoir son propre modèle de contexte, le système de gestion est donc exigé pour maintenir des modèles différents. Le système de gestion stocke une base commune d'informations contextuelles, aussi bien que les métadonnées correspondant à chaque modèle de contexte, pour réduire les exigences de stockage et accélérer le processus requête-réponse.

La couche mémoire constructive est conçue pour que le raisonnement de contexte puisse être accompli par la recherche dans une base de données pour obtenir un meilleur appariement des expériences passées de contextes à l'application en cours.

La couche adaptation, permet d'adapter les services et la communication avec **la couche application** en fonction du contexte actuel.

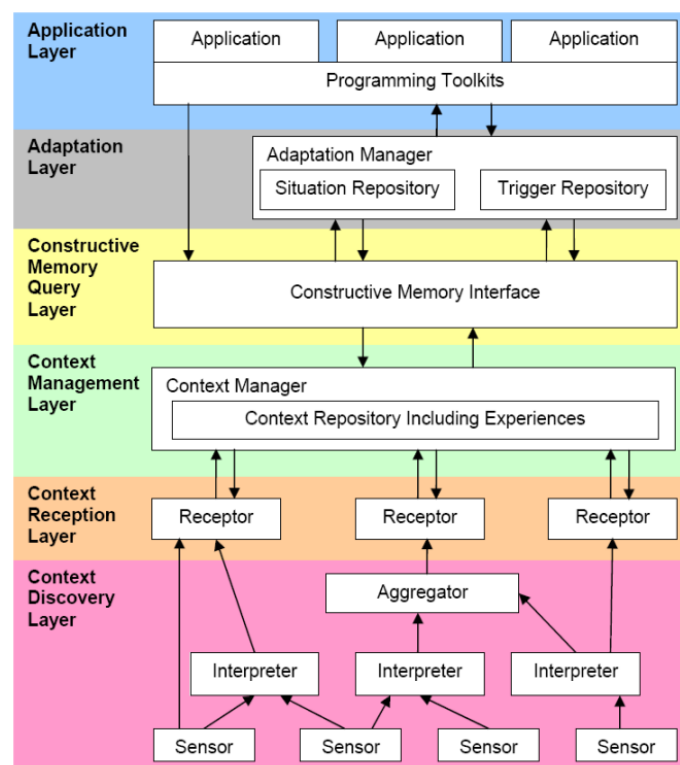


Figure 257 : Architecture en couches améliorée de systèmes contextualisés (Daruwala, 2008)

- Architecture orientée service (SOCAM - Service-Oriented Context-Aware Middleware)

Gu (Gu, et al., 2004) a proposé une architecture de middleware de contextualisation, qui est appelé SOCAM (Figure 258). Cette architecture est basée sur des composants, qui peuvent

être projetés dans les couches des architectures précédentes. Cette architecture a pour but d'aider à construire des services contextualisés.

Les composants principaux sont :

- Le **Context Provider** extrait des contextes de sources différentes (externe ou interne), et les transforment en représentation OWL (Web Ontology Language) pour que les contextes puissent être partagés et réutilisés par d'autres composants ;
- Le **Context Interpreter** consiste en une base de connaissance de contexte et un moteur de raisonnement. Les moteurs de raisonnement fournissent les services de compréhension sur des contextes, incluant la déduction de contextes, la résolution des conflits de contextes, et la maintenance de la consistance de la base de connaissance. Des règles d'inférence différentes peuvent être spécifiées et intégrées ;
- Le **Context-aware Service** utilise les contextes de niveaux différents et adapte les services selon le contexte actuel. Service Locating Service fournit un mécanisme où les Context Providers et Context Interpreter peuvent être enregistrés, et les utilisateurs et les applications peuvent trouver et accéder à ces services.

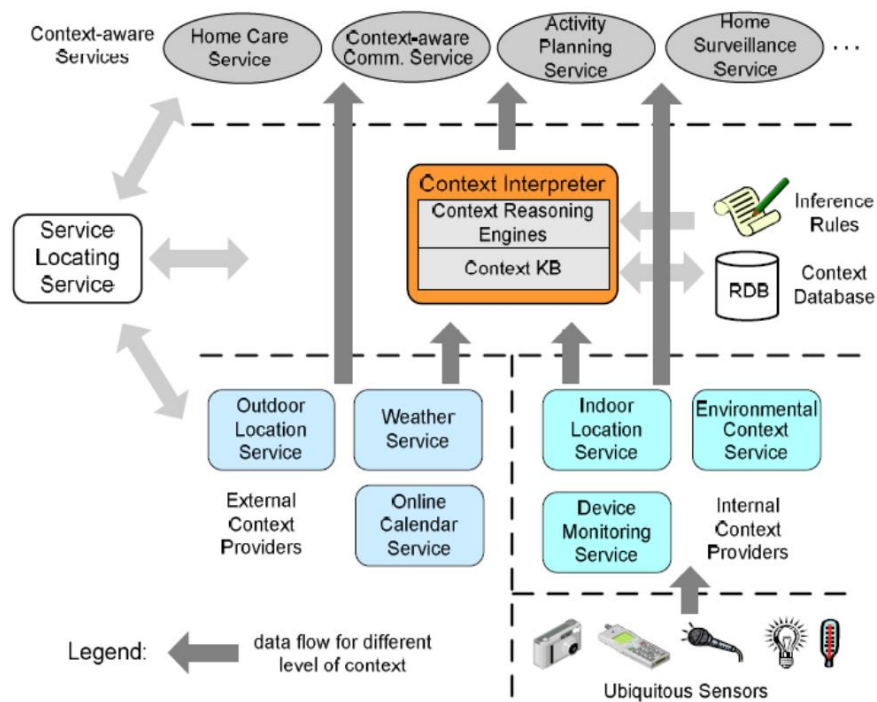


Figure 258 : Architecture SOCAM (Gu, et al., 2004)

Ces architectures nous donnent des principes généraux de fonctionnement d'un système contextualisé. Elles n'ont pas été conçues pour un système spécifique, mais ont été proposées à partir du constat de fonctionnement de beaucoup d'applications et systèmes. Elles peuvent être considérées comme des modèles représentatifs pour la conception de l'architecture des systèmes contextualisés.

Abstract

A Learning game is a declension of the serious game concept dedicated to the learning activity. A Learning game is based on a scenario and immersion of the learners with use of game mechanics on problem based simulation. The gamification concept is the use of game elements in a non-playful activity with as impact attention, motivation and engagement. However, some research feedback explains that too much artificiality on learning activity caused by a lack of contextualization of the activity on the professional environment. We propose to use Mixed Reality and Collaborative Supported Computer Work as technological solution to support situated and collaborative situation in aim to enhance pedagogical strategy and allow a better learning. We call it "Situated Collaborative Learning Game" (SCLG) as a concept of pedagogical tools to enhance learning of content with use of collaborative learning (when learners interactions is useful to learn), situated learning (when the environment context is meaningful) and human-physical objet interaction (with use of mixed reality, with kinesthetic and tangible interaction in augmented reality) and game based learning (when learner's motivation is improved by the learning activity).

In these contexts, our two research questions are: 1 / How to create a serious games support by use of Augmented Reality (AR) approach and Tangible Interface (IT) approach? 2 / How to make design and development of SCLG (situated collaborative learning game) more explicit and systematic?

We propose two solutions: 1/ the design and the production of four interactive desks with support of tangible interaction on and above the table. These devices are linked to a communication protocol which allows a generic support of technical interaction. 2/ A generic way to design the CSLG system, with integration of advanced human computer interaction support (as augmented reality and tangible interaction) and ubiquitous computing in Learning Games. For that, we propose, with a user centered oriented and model oriented design, a way to make a CSLG factory.

For that, we propose use of six models to determinate the behavior of the CSLG. These six models describe learners' activity (with use of three different models to follow the activity theory's), the mixed game environment, deployment of entities on the environment, and human computer interactions. All of these models are linked by an orchestration model and can be project on a multi-agent multi-layers architecture by use of XML description file. We propose tools to help each step of our design and production process.

Our work on interactive desks, on the six models and on the runtime support has been realized in the production of Lea(r)nIT. This SCLG consolidate methodological knowledge of Lean Manufacturing by use and optimization of a simulated chain production on four desks (which support touch and tangible interactions and can be assembled) and on mobile phones (to allow movement of learners).

Keywords: Learning Game; Mixed Reality; Augmented Reality; Tangible Interaction; Design; Model; Situated Learning

Résumé

Un jeu pédagogique constitue une déclinaison relative à l'apprentissage du concept de jeu sérieux (serious game). Ce type d'outil permet la ludification (gamification) de l'activité afin d'utiliser des éléments de jeu dans un contexte non ludique et conduit à catalyser l'attention, faire accroître l'engagement et augmenter la motivation des joueurs-apprenants dans les situations d'apprentissage. Les jeux pédagogiques reposent sur la mise en situation et l'immersion des apprenants, utilisant les ressorts ludiques dans des simulations axées vers la résolution de problèmes. Parmi des recherches antérieures, certains retours d'expériences font écho d'une trop grande artificialité de l'activité notamment par manque de contextualisation de l'apprentissage dans l'environnement d'utilisation des connaissances apprises. Nous avons proposé la mise en place un environnement mixte (physique et numérique) et l'utilisation de techniques collaboratives pour raffiner l'approche pédagogique. Ces orientations nous ont menés à la mise en place de ce que nous appelons des «Jeux Pédagogiques Collaboratifs Situés» (JPCS).

Les deux questions de recherche qui nous ont été posées dans le cadre du projet SEGAREM et qui sont devenues les nôtres sont : 1/ comment accompagner les jeux sérieux par l'approche Réalité Augmentée (RA) et l'approche Interface Tangible (IT)? 2/ comment rendre la conception et la mise en œuvre des JPCS (Jeux Pédagogiques Collaboratifs Situés) plus explicite et plus systématique ?

Les réponses que nous présentons dans cette thèse sont les suivantes : 1/ la conception et la mise en œuvre des pupitres interactifs supportant des objets réels augmentés, associés à un protocole de communication existant, proposant un support générique des techniques d'interaction détectée et de prise en compte du contexte physique d'utilisation ; 2/ une approche de production de JPCS se situant après l'étape de scénarisation ludo-pédagogique qui constitue notre cahier des charges.

Nous avons basé notre approche sur des modèles pour permettre un support d'expression qui précise les caractéristiques des JPCS. Ces modèles sont soutenus par des éditeurs contextuels et produisent comme résultat des fichiers de descriptions en XML. La projection des descriptions obtenues sur une architecture générique d'exécution du JPCS permet une spécialisation pour obtenir une version exécutable. Dans les six modèles, certains sont adaptés des travaux antérieurs de l'équipe, d'autres issues de la littérature et les derniers sont directement proposés ici. Ces six modèles décrivent l'activité (un modèle d'orchestration de l'activité et un modèle de tâches), la structure de différents environnements, l'état initial de l'environnement et les conditions nécessaires d'un état final et les interactions possibles entre les joueurs et l'environnement. Nos travaux tant sur les pupitres que sur les modèles et le support d'exécution ont été concrétisés dans la mise en place de Lea(r)nt. Ce JPCS avait pour but de consolider des acquis méthodologiques en Lean Manufacturing par l'utilisation et l'optimisation d'une chaîne de production simulée sur pupitres (supportant interactions tactiles, interactions tangibles et pouvant être assemblés) et sur téléphones mobiles (permettant la mobilité des joueurs-apprenants).

Mots clés : Jeux pédagogiques ; Réalité mixte ; Réalité augmentée ; Interaction Tangible ; Conception ; Approche par les modèles ; apprentissage situé ; TCAO;