

Habilitation à diriger des recherches

En Informatique

PRÉSENTÉE PAR

Karim Sehaba

Soutenue le 5 décembre 2014

Adaptation dynamique des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain

Laboratoire d'Informatique en Images et Systèmes d'information
LIRIS – UMR 5205 CNRS

Présentée devant le jury :

Dominique Archambault - Professeur, Université Paris 8 (Rapporteur)

Paul De Bra - Professeur, Eindhoven University of Technology

Pascal Estrailier - Professeur, Université de La Rochelle

Serge Garlatti - Professeur, Télécom Bretagne (Rapporteur)

Jean-Charles Marty – Maître de conférences - HDR, Université de Savoie

Serge Miguet - Professeur, Université Lumière Lyon 2 (Rapporteur interne)

Remerciements

Mes remerciements vont tout d'abord aux membres de mon jury, en particulier Dominique Archambault, Serge Garlatti et Serge Miguet, pour avoir accepté la lourde tâche de rapporter sur mon mémoire malgré leurs responsabilités et occupations. Je les remercie également pour toutes les discussions riches et très constructives que nous avons pu avoir ainsi que leurs lectures précises et conseils avisés.

Je remercie Pascal Estrailier pour avoir accepté de présider mon jury, et également pour nos collaborations qui durent depuis mon stage de DEA (Master 2) de 2002.

Je remercie Paul De Bra pour faire partie de mon jury et Jean-Chales Marty pour son soutien et ses conseils avisés. Je remercie également Gilles Gesquière d'avoir accepté d'être le garant auprès de l'université Lumière Lyon 2.

Mes remerciements vont également à tous les collègues de l'équipe SILEX puis SICAL avec qui j'ai pu travailler, en particulier les stagiaires, doctorants et post-doctorants que j'ai eu énormément de plaisir à encadrer ou co-encadrer. Je n'oublie pas d'exprimer ma gratitude aux collègues de l'Institut de communication de Lyon 2.

Abir, Benoît, Élise et Olivier ont accepté de relire les différents chapitres de mon mémoire, qu'ils en soient remerciés.

J'ai une pensée à ma petite famille, mon épouse pour son soutien et sa compréhension durant la rédaction de ce mémoire, et mes deux enfants pour leur patience. J'ai une pensée particulière à mes parents que j'adore, j'espère qu'ils sont fiers de moi.

Résumé

Les travaux présentés dans ce mémoire d'habilitation à diriger des recherches portent sur l'adaptation dynamique des systèmes interactifs. Ces travaux s'inscrivent dans le domaine des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH), et plus particulièrement dans le domaine des serious games dédiés aux personnes en situation de handicap. Nos contributions dans ce cadre s'organisent autour de trois axes.

Le premier axe concerne la conception de modèles et d'outils génériques permettant aux systèmes informatiques de s'adapter à l'utilisateur, et plus généralement aux contraintes et propriétés du contexte d'usage. Ce dernier est défini par le triplet : utilisateur, plate-forme et situation d'interaction. Dans ce cadre, nos recherches se sont focalisées sur l'adaptation dynamique : (1) de scénarios d'apprentissage dans les serious games, (2) des traces partagées dans les environnements d'apprentissage en ligne et (3) des émotions pour les personnages non joueurs dans les jeux.

Le deuxième axe concerne l'extraction interactive de connaissances à partir de traces d'interaction. Il s'agit d'acquérir de nouvelles connaissances ou de mettre à jour des connaissances existantes à partir des données issues des interactions entre l'utilisateur et l'environnement informatique. Nos travaux dans ce domaine ont porté, d'une part, sur la mise à jour des connaissances du domaine et du profil utilisateur et, d'autre part, sur l'apprentissage de connaissances d'adaptation à partir des feedbacks de l'utilisateur.

Le troisième axe porte sur l'analyse du comportement de l'utilisateur à partir de ses traces d'interaction. Cette analyse permet, d'une part, à l'enseignant/formateur de suivre les réalisations et les évolutions de ses apprenants afin d'adapter le processus d'apprentissage à leurs contextes d'usage, et d'autre part, de faciliter l'apprentissage à travers des processus métacognitifs liés à une activité réflexive fondée sur la visualisation interactive de trace.

Nos contributions ont été développées, testées et validées, dans le cadre de plusieurs projets pluridisciplinaires en partenariat avec des structures académiques et industrielles.

Table des matières

Partie 1 : Curriculum vitae.....	11
1. État civil.....	13
2. Parcours.....	13
3. Activités d'enseignement.....	13
3.1 Responsabilités pédagogiques.....	13
3.2 Enseignements à l'Institut de la Communication de l'Université Lumière Lyon 2.....	14
3.3 Enseignements dans d'autres composantes de l'Université Lumière Lyon 2.....	15
3.4 Interventions dans d'autres établissements.....	15
4. Activités de recherche.....	16
4.1 Domaine de recherche.....	16
4.2 Encadrements scientifiques.....	16
4.2.1 Thèses soutenues.....	16
4.2.2 Thèses en cours.....	17
4.2.3 Post-doctorants.....	17
4.3 Projets de recherche et activités contractuelles.....	17
5. Tâches collectives et animations scientifiques.....	19
5.1 Expertises scientifiques.....	19
5.2 Prix.....	19
5.3 Organisation de manifestations.....	19
5.4 Séminaires invités.....	19
5.5 Comités de programme et relecture d'articles.....	20
5.6 Responsabilités collectives et animations scientifiques.....	20
5.7 Collaborations internationales.....	20
6. Publications.....	20
6.1 Articles de journaux internationaux avec comité de lecture.....	21
6.1 Articles de journaux nationaux avec comité de lecture.....	21
6.2 Articles de conférences internationales avec comité de lecture.....	21
6.3 Articles de workshops internationaux avec comité de lecture.....	24
6.4 Articles de conférences nationales avec comité de lecture.....	24
6.5 Édition scientifique d'ouvrages.....	25
6.6 Chapitre de livre.....	25
6.7 Développement de logiciels.....	25
Partie 2 : Activités de recherche.....	27
Introduction.....	29
Chapitre 1 : Thèmes de recherche et problématiques.....	31
1.1 Introduction.....	33
1.2 Positionnement scientifique.....	33
1.3 Problématiques scientifiques.....	35
1.3.1 Adaptation.....	36
1.3.2 Extraction de connaissances à partir des traces.....	37
1.3.3 Analyse de comportement à partir de traces.....	37
1.4 Contexte de recherche.....	38
Chapitre 2 : Adaptation.....	39
2.1 Introduction.....	41
2.2 Définitions et positionnement.....	42
2.2.1 Serious game.....	42
2.2.2 Scénario pédagogique.....	43
2.2.3 Modalité d'interaction.....	43
2.3 Génération adaptative de scénarios dans les serious games.....	44
2.3.1 Problématique et positionnement scientifique.....	44
Générateur de scénarios dans les serious games.....	45
Générateur de scénarios dans les EIAH.....	45
Synthèse.....	46
2.3.2 Architecture et formalisation.....	47
Modélisation des concepts du domaine.....	47
Modélisation des ressources pédagogiques.....	48
Modélisation des ressources du jeu.....	48
2.3.3 Génération de scénarios.....	49
Génération du scénario conceptuel.....	49
Génération du scénario pédagogique.....	50
Génération du scénario de jeu.....	51
2.3.4 Plateforme GOALS.....	51
2.3.5 Applications : handicap cognitif.....	52
Évaluation et rééducation cognitives : Jeu Tom Oconor.....	52
Décodage des situations sociales chez les adolescents Asperger : Jeu Polaroaide.....	54
2.3.6 Expérimentations et résultats.....	56
Validation du générateur.....	56
Impact des scénarios sur les apprenants.....	58
2.4 Adaptation des traces partagées.....	59
2.4.1 Problématique et positionnement scientifique.....	59
2.4.2 Architecture et formalisation.....	61
Représentation de trace.....	62
Représentation du profil.....	62
Connaissance d'adaptation.....	63

2.4.3	Adaptation des traces.....	64
2.4.4	Applications : apprentissage en ligne et handicap.....	65
	Partage d'expériences dans un environnement d'apprentissage en ligne.....	65
	Partage d'expériences entre utilisateurs avec et sans handicap.....	68
2.5	Perception et expression des émotions pour les personnages non joueurs dans les jeux.....	70
2.5.1	Problématique et positionnement scientifique.....	70
2.5.2	Formalisations.....	72
	Modélisation de la personnalité et des émotions.....	72
	Fonction d'affaiblissement.....	73
	Sensibilité aux émotions.....	74
	Mise à jour de l'état émotionnel.....	75
2.5.3	Applications : jeux vidéo.....	76
	Dialogue fondé sur les Emotions, l'Expérience et la Personnalité (DEEP).....	76
	Validation.....	77
	Prise en compte des interactions sociales (Be In Game).....	79
2.6	Conclusion.....	80
Chapitre 3	: Extraction de connaissances à partir de traces.....	83
3.1	Introduction.....	85
3.2	Mise à jour des connaissances du domaine et du profil de l'utilisateur.....	86
3.2.1	Problématique et positionnement scientifique.....	86
3.2.2	Mise à jour du profil.....	87
3.2.3	Mise à jour des connaissances du domaine.....	88
3.2.4	Expérimentation et résultats.....	90
3.3	Extraction de connaissances d'adaptation à partir des feedbacks des utilisateurs.....	91
3.3.1	Problématique et positionnement scientifique.....	91
3.3.2	Architecture et formalisations.....	91
	Trace d'interaction.....	92
	Connaissance d'adaptation.....	93
3.3.3	Apprentissage des connaissances à partir des feedbacks de l'utilisateur.....	94
3.3.4	Expérimentations et résultats.....	95
	Sélection de menu.....	96
	Projet Robot Populi.....	97
3.4	Conclusion.....	98
Chapitre 4	: Analyse du comportement de l'utilisateur à partir de traces.....	99
4.1	Introduction.....	101
4.2	Contexte et positionnement scientifique.....	102
4.3	Analyse du comportement à base de traces d'interaction.....	104
4.3.1	Modèles de trace et de transformation.....	104
4.3.2	Plate-forme D3KODE.....	105
4.4	Analyse des activités d'apprentissage.....	106
4.4.1	Contexte et objectif de recherche.....	106
4.4.2	Modèle de trace et de transformation.....	107
4.4.3	Expérimentations et résultats.....	108
	Méthode d'évaluation.....	108
	Création des modèles de traces et de transformations.....	109
	Simulations.....	109
	Résultats.....	109
4.5	Analyse de l'engagement.....	110
4.5.1	Problématique et positionnement scientifique.....	110
4.5.2	Approche qualitative.....	111
4.5.3	Expérimentation et résultats.....	112
	Contexte applicatif.....	112
	Méthode d'évaluation.....	112
	Résultats.....	113
4.6	Conclusion.....	114
Chapitre 5	: Conclusion et perspectives.....	117
5.1	Serious game et Handicap.....	119
5.2	Médias sociaux et apprentissage.....	120
5.3	Mooc.....	120
	Bibliographie.....	123
Partie 3	: Articles.....	133

Liste des figures

Figure 1 : Architecture générale des EIAH adaptatifs.....	36
Figure 2 : Catégories des serious games (George, 2010).....	42
Figure 3 : Architecture du générateur de scénarios.....	47
Figure 4 : Interface de la plate-forme GOALS : résultat de génération de scénarios.....	51
Figure 5 : Interface du jeu Tom Oconor.....	53
Figure 6 : Exemple de mini-jeux d'évaluation et de rééducation cognitives.....	53
Figure 7 : Modélisation du concept « perception » : projet CLES.....	54
Figure 8 : Interface du jeu Polaroid.....	55
Figure 9 : Interface d'une scène du jeu Polaroid.....	56
Figure 10 : Évaluation du générateur de scénarios : analyse de vidéo (interface advene).....	58
Figure 11 : Évaluation de l'impact des scénarios : déroulement de l'expérimentation.....	59
Figure 12 : Partage d'expériences entre utilisateurs de profils différents.....	60
Figure 13 : Architecture générale du système de transformation de traces partagées.....	62
Figure 14 : Interface de configuration des connaissances d'adaptation.....	65
Figure 15 : Exemple de similarité entre un profil utilisateur et une connaissance d'adaptation.....	66
Figure 16 : Exemple de transformation de trace partagée dans un EIAH en ligne.....	67
Figure 17 : Exemple de transformation de trace partagée entre utilisateurs avec et sans déficience visuelle.....	69
Figure 18 : Modèle émotionnel d'Ortony, Clore et Collins (Ortony1988).....	71
Figure 19 : Interfaces de configuration du modèle émotionnel et de création de PNJ.....	77
Figure 20 : Évolution de l'état émotionnel.....	79
Figure 21 : Principe de mise à jour du profil de l'utilisateur.....	88
Figure 22 : Exemple simple de représentation de connaissances dans GOALS.....	88
Figure 23 : Modèle du domaine initial.....	90
Figure 24 : Mise à jour du modèle du domaine.....	91
Figure 25 : Architecture générale du système adaptatif : extraction de connaissances d'adaptation (Karami, Sehaba, & Encelle, 2013).....	92
Figure 26 : Interface de sélection de menu.....	96
Figure 27 : Activités du Robot Populi.....	97
Figure 28 : Expérimentation avec Robot Populi.....	97
Figure 29 : Système de gestion de base de traces modélisées (Settouti, 2011).....	103
Figure 30 : Modèle générique de trace.....	104
Figure 31 : Modèle générique de transformation (Champalle, 2014).....	105
Figure 32 : D3KODE - Visualisation graphique des traces.....	106
Figure 33 : Modèle de trace dédié à l'observation et à l'analyse des activités des stagiaires sur simulateur plein échelle (Champalle, 2014).....	107
Figure 34 : Principe d'analyse à base de transformation de traces.....	108
Figure 35 : Principe d'analyse de l'engagement (Bouvier, Sehaba, Lavoué, & George, 2013).....	112
Figure 36 : Résultats d'identification de l'engagement.....	113
Figure 37 : Résultats d'identification des types d'engagement.....	114
Figure 38 : Serious game « Sepsis fast track » (Ribeiro, Lavoué, Sehaba, Pereira, & Baalsrud Hauge, 2014).....	119

Liste des tableaux

Tableau 1 : Espace de conception de l'adaptation, positionnement.....	35
Tableau 2 : Contexte des différentes problématiques.....	38
Tableau 3 : Positionnement de notre approche d'adaptation.....	41
Tableau 4 : Évaluation du générateur de scénarios : profils des participants.....	57
Tableau 5 : Évaluation du générateur de scénarios : exemples de comparaison de scénarios.....	57
Tableau 6 : Évaluation de l'impact des scénarios GOALS : profils des participants.....	58
Tableau 7 : Évaluation de l'impact des scénarios : résultats de l'évaluation.....	59
Tableau 8 : Exemples de personnages non joueurs.....	78
Tableau 9 : Exemple de potentiels émotionnels des stimuli.....	78
Tableau 10 : Positionnement de notre approche d'extraction de connaissances.....	85
Tableau 11 : Exemple d'évaluation des réponses des apprenants.....	89
Tableau 12 : Évaluation des réponses des participants.....	90
Tableau 13 : Questionnaire post-expérimentation.....	98
Tableau 14 : Positionnement de notre approche d'analyse du comportement.....	101
Tableau 15 : Statistiques sur le contexte d'usage d'un Mooc de l'Université Centrale de Floride (Hara, Moskal, & Saarinen, 2013).....	121

Partie 1 : Curriculum vitæ

1. État civil

Nom : Sehaba
Prénom : Karim
Établissement : ICOM – Université Lumière Lyon 2
Unité de recherche : LIRIS, UMR 5205
Situation familiale : Marié, deux enfants
Courriel : karim.sehaba@liris.cnrs.fr
Web : <http://liris.cnrs.fr/ksehaba/>

2. Parcours

Depuis 2007 : Maître de conférences, ICOM - Université Lumière Lyon 2
2006-2007 : Post-doctorat au LIP6, Université Pierre et Marie Curie - Paris
2005-2006 : ATER - Département d'informatique, Université de La Rochelle
2002-2005 : Doctorat en Informatique - Université de La Rochelle
Titre : Exécution adaptative par observation et analyse de comportements
Application à des logiciels interactifs pour des enfants autistes
Mention : Très honorable
2001-2002 : DEA Image et Calculs - Université de La Rochelle. Mention : Assez-bien
1996-2001 : Ingénieur d'État en Informatique - Université d'Oran. Très bien, Major de promotion

3. Activités d'enseignement

Mes activités dans l'enseignement supérieur ont commencé durant ma thèse de doctorat (2002-2005), en tant que vacataire au département d'Informatique de l'Université de La Rochelle et à l'IUT de La Rochelle. Durant cette période, j'ai dispensé un service de 344 HETD dans le cadre de CM, TD et TP dans les différents domaines de l'informatique tels que les systèmes temps réel, l'algorithmique et la programmation, les réseaux informatiques, la bureautique, l'architecture des ordinateurs, les graphes et les structures de données, etc.

Depuis septembre 2007, je suis Maître de Conférences à l'Institut de la Communication (ICOM) de l'Université Lumière Lyon 2. Les parties suivantes détaillent mes responsabilités pédagogiques et mes activités d'enseignement à l'ICOM, dans d'autres composantes de l'Université Lumière Lyon 2 ainsi que dans d'autres établissements lyonnais. Pour chaque enseignement, il est précisé le public cible et le nombre d'heures annuelles.

3.1 Responsabilités pédagogiques

Depuis ma nomination en tant que Maître de Conférences, à l'Institut de la Communication de l'Université Lumière Lyon 2 en septembre 2007, je suis responsable du Master 2 Pro VCIel¹. VCIel, comme Visualisation et Conception Infographiques en Ligne, est une formation en ligne et à distance qui vise à former des professionnels dans les domaines du multimédia, de l'infographie 2D-3D, des outils de l'internet et la gestion de projets. Cette formation est en partenariat avec l'Agence

¹ <http://vciel.univ-lyon2.fr>

universitaire de la Francophonie (AUF), l'USTBH d'Alger (Algérie), l'Université de Genève (Suisse) et l'École Nationale des Ingénieurs de Sfax (Tunisie).

En tant que responsable de ce Master, je suis en charge des tâches suivantes : recrutement des vacataires ; gestion du calendrier et de l'emploi du temps de la formation ; coordination et gestion des candidatures (une soixantaine par an) ; gestion de la charte de l'apprenant ; gestion de la plate-forme de cours ; organisation des examens (à Lyon pour les étudiants en France et dans les différents centres AUF pour les étudiants étrangers) ; communication autour de la formation (conception et mise à jour du site web, plaquettes, etc.) ; établissement du budget avec le responsable administratif et financier de l'ICOM ; organisation de journées pédagogiques et coordination avec les établissements partenaires du Master.

J'ai également assuré la responsabilité de plusieurs modules :

- Ergonomie des Interfaces Homme-Machine (IHM) pour les diplômés universitaires DUCCI 1 et DUCCI 2 de la filière Infographie et Multimédia de l'ICOM ;
- Réseaux informatique pour le Master 1 IDS (Informatique Décisionnelle et Statistique) du département d'Informatique de l'ICOM ;
- XML pour le Master VCiel de la filière Infographie et Multimédia de l'ICOM ;
- Gestion de projets pour le Master VCiel de la filière Infographie et Multimédia de l'ICOM.

Chaque année, je participe aux jurys et commissions d'accès des formations TICE, C2i, VCiel et, en 2007-2011, des diplômés DUCCI 1, DUCCI 2 et Master Conception et Intégration Multimédia de l'Université Lumière Lyon 2.

3.2 Enseignements à l'Institut de la Communication de l'Université Lumière Lyon 2

Ergonomie des IHM (2007-2013) – Filière Infographie et Multimédia – CM : 54 heures/an

DUCCI 1 (3^{ème} année), DUCCI 2 (4^{ème} année), Master 2 Pro CIM (5^{ème} année).

Concepts de base, traitement des erreurs, composants de dialogue humain-machine, conception Web, méthodes de conception et d'évaluation des IHM, nouvelle IHM.

Réseaux Informatiques (2007-...) – Département d'Informatique et Statistique – CM/TD/TP : 50 heures/an

Master 1 Informatique (4^{ème} année)

Modèles en couches (OSI & TCP/IP), couche internet (IP, ICMP, ARP/RARP), couche transport (TCP, UDP), couche application (HTTP, DNS, SMTP, FTP...), décodage de trames et efficacité du transfert, installation et configuration des serveurs Web, adressage et routage IP, programmation des sockets.

Bureautique TICE niveaux 1 et 2 (2007 -...) – TD : 42 heures/an

1^{ère} et 2^{ème} année universitaire (formations transversales)

Introduction aux systèmes d'exploitation et architecture des ordinateurs, traitement de texte, tableur, présentation assistée par ordinateur (PAO), multimédia (image, audio, vidéo), publication en ligne.

Gestion de projets (2007 -...) – Filière Infographie et Multimédia – TD : 30 heures/an

Master 2 Pro VCiel (5^{ème} année)

Introduction à la gestion de projet, cycles de vie d'un projet, méthodes de planification, étude budgétaire, étude des risques, logiciels de gestion de projet.

XML (2013 -...) – Filière Infographie et Multimédia – TD : 30 heures/an

Master Pro VCiel (5^{ème} année)

Introduction, structure d'un document xml, document bien formé/valide, DTD, XML Schéma, XML/CSS, XML/XSLT, XML/Javascript.

Bureautique OpenOffice (2007 – 2013) – Filière des Sciences de l'Information et de la Communication – CM/TP : 12 heures/an

Licence Colibre (3^{ème} année)

Traitement de texte, présentation assistée par ordinateur, publipostage.

Méthodes et processus de développement (2007-2013) – Filière des Sciences de l'Information et de la Communication – CM/TP : 9 heures/an

Licence Colibre (3^{ème} année)

Modélisation orientée objet, introduction à la modélisation UML, diagrammes UML (classe, objet et cas d'utilisation).

Initiation à la recherche – (2011-2014) – Filière Infographie et Multimédia – CM : 6 heures/an

Master 2 Pro Conception et Intégration Multimédia (5^{ème} année)

Serious games destinées aux personnes en situation de handicap cognitif et analyse d'usage.

Enseignant-référent de 5 candidats à la VAE (Validation des Acquis de l'Expériences) (2011-2014) – Filière Infographie et Multimédia

Master 2 Pro Conception et Intégration Multimédia (5^{ème} année)

- Parcours Directeur Technique (2007-2008, 2008-2009, 2009-2010, 2013-2014).
- Parcours Directeur Artistique (2009-2010).

Encadrement de stagiaires

En plus de ces activités, j'ai encadré plusieurs étudiants dans le cadre des stages M1 et M2, notamment pour les formations : Licence Colibre, M1 Informatique, et M2 Pro VCIel de ICOM Lyon 2.

3.3 Enseignements dans d'autres composantes de l'Université Lumière Lyon 2

Serious games et situations de handicap (2013- ...) – Institut de Psychologie. CM : 4 heures

M2 Sciences Cognitives Appliquées (5^{ème} année)

Introduction aux serious games, évaluation et remédiation cognitives et l'aide à la structuration des enfants avec autisme à base de serious games.

Méthodologie Universitaire (2011- ...) – Faculté de Droit et Science politique. TD : 21 heures/an

Licence Administration Économique et Sociale (1^{ère} année)

Excel : Graphique et mise en forme conditionnelle, fonctions conditionnelles, fonctions statistiques et matricielles, fonctions de recherche et filtres, tableaux croisés dynamiques, macrocommandes, mode révision/protection/validation de données.

Encadrement de stagiaires – (2008-2009) Institut de Psychologie.

M1 Sciences cognitives (4^{ème} année)

Encadrement de 5 stagiaires sur la problématique des émotions dans les serious games.

3.4 Interventions dans d'autres établissements

Connaissances et Adaptation dans les environnements d'apprentissage (2010-...) – Département d'Informatique – Université Claude Bernard Lyon 1 – CM : 5 heures/an

M2 Intelligence Artificielle et Décision (5^{ème} année)

Serious games adaptatifs dédiés aux personnes en situations de handicap

Ingénierie de connaissances d'expérience tracée (2013 - ...) – Département d'Informatique - Université Claude Bernard Lyon 1. CM : 2 heures/an

Notion de traces, systèmes à base de traces, partage d'expériences à base de traces, adaptation de traces partagées, illustrations.

Projet collectif (2012 - ...) – Département Génie Industriel – INSA Lyon

J'ai co-encadré deux projets collectifs de l'INSA-Lyon. Le projet collectif est un travail de groupe (de 7 à 9 étudiants), qui correspond à un investissement d'environ 3500 heures, dans lequel les étudiants doivent mener un projet de A à Z en réponse à un besoin d'un maître d'ouvrage.

2013-14

- Sujet : Décodage des situations sociales chez l'adolescent Asperger.
- Maître d'ouvrage : Centre Hospitalier Saint Jean de Dieu.
- Durée : 7 mois.
- Effectif : 9 étudiants.

2012-13

- Sujet : Amélioration de la perception des situations sociales chez l'enfant et l'adolescent dysphasique.
- Maître d'ouvrage : Hospices civils de Lyon.
- Durée : 7 mois.
- Effectif : 8 étudiants.

4. Activités de recherche

4.1 Domaine de recherche

Mes activités de recherche portent sur les systèmes interactifs adaptatifs. Dans ce cadre, j'ai développé des modèles et des outils génériques permettant l'analyse du comportement de l'utilisateur, l'extraction interactive de connaissances et l'adaptation au contexte d'usage. Le domaine d'application de mes travaux porte sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH), en particulier les serious games dédiés aux personnes en situation de handicap.

Mes contributions ont été développées et testées, pour importante partie d'entre eux, dans le cadre de plusieurs projets pluridisciplinaires en partenariat avec des structures académiques et industrielles.

Mots clés : Adaptation, analyse du comportement, extraction de connaissances, traces, serious game, handicap.

Dans les sections suivantes, je présente les encadrements scientifiques ainsi que les projets de recherche que j'ai pu mener.

4.2 Encadrements scientifiques

- 4 thèses de doctorat dont deux en cours.
- 2 post-doctorants.

4.2.1 Thèses soutenues

Olivier Champalle

Titre de la thèse : Instrumentation d'environnements informatiques pour l'apprentissage humain intégrant des simulateurs : capitaliser à partir des expériences d'utilisation pour faciliter l'adaptation aux contraintes de formation.

Durée : 01/04/2009 – 04/07/2014.

Co-encadrement : Alain Mille (20%)

Contexte : Projet avec l'UFPI-EDF (Unité de Formation Production Ingénierie d'EDF).

Financement : Thèse CIFRE (ANRT + l'UFPI-EDF).

Aarij Mahmood Hussaan

Titre de la thèse : Générateur adaptatif de scénarios pédagogiques dans des jeux sérieux.
Application : serious game destiné aux personnes en situations de handicap cognitif.
Durée : 1/10/2009 - 19/12/2012.
Co-encadrement : Alain Mille (20%).
Contexte : Projet NKM CLES (Cognitive Linguistic Elements Stimulation).
Financement : Bourse Egide + Projet FUI-CLES.
Situation actuelle : Aarij Hussaan est enseignant-chercheur à l'Université Iqra (Karachi – Pakistan).

4.2.2 Thèses en cours

Joseph Garnier

Titre de la thèse : Prise en compte des interactions sociales dans la perception et l'expression émotionnelles des personnages de jeux vidéo.
Co-encadrement : Jean-Charles Marty (50%).
Durée : 28/01/2014 - ...
Contexte : Projet BeInG (Be In Game).
Financement : Thèse CIFRE avec Artefacts Studio.

Tadlaoui Mohamed

Titre de la thèse : Vers un environnement d'apprentissage adaptatif dans les réseaux sociaux.
Co-encadrement : Sébastien George (50%).
Durée : 07/04/2013 - ...
Contexte de la thèse : Cotutelle avec l'université de Tlemcen – Algérie.
Financement : L'étudiant est fonctionnaire (enseignant-chercheur) à l'université de Tlemcen.

4.2.3 Post-doctorants

Abir Béatrice Karami

Titre : Personnalisation du comportement de robot à partir des feedbacks des utilisateurs.
Durée : 01/09/2012 - 31/07/2014.
Co-encadrement : Benoît Encelle (40%).
Contexte : Projet FUI Robot Pupuli.
Financement : Projet FUI Robot Pupuli.

Patrice Bouvier

Titre : Analyse de comportements de joueurs dans un *Social Game* à partir de leurs traces d'activité.
Durée : 01/02/2012 - 01/05/2013.
Co-encadrement : Élise Lavoué (50%).
Contexte : Projet QueJANT (Qualification de l'Engagement d'un Joueur à partir de l'Analyse de ses Traces).
Financement : Région Rhône Alpes.

4.3 Projets de recherche et activités contractuelles

Projet CLES - Cognitive Linguistic Elements Stimulation

Implication : Responsable du projet.
Financier : Projet NKM serious gaming et Web 2.0 (Ministère).
Durée : 1/1/2010-1/1/2012.
Partenaires : Laboratoires LIRIS et EMC – Université de Lyon, laboratoire LUTIN – Paris, les sociétés GERIP et Tanukis – Lyon.

Contribution : Responsable du lot « Module de génération de scénarios » et encadrement de la thèse d'Aarij Husaan.

Projet Robot POPULI

Implication : Responsable du projet.

Financier : Projet FUI (Ministère).

Durée : 1/3/2012-31/12/2014.

Partenaires : Laboratoire LIRIS, la société AWABOT – Lyon, la filière GAMAGORA – Université Lyon 2, la société ARTEFACTS STUDIO – Lyon, la société GOSTAI – Paris, ENSTA ParisTech – Paris, la société POB Tech – Lyon.

Contribution : Responsable du lot « personnalisation du comportement de l'IHM et traces d'interaction » et encadrement de Abir Béatrice Karami (Post-doctorante sur le projet).

Projet QUEJANT - Qualification de l'Engagement d'un Joueur à partir de l'Analyse de ses Traces

Implication : co-responsable du projet.

Financier : Région Rhône-Alpes.

Durée : 15/01/2012-14/07/2013.

Partenaires : Laboratoire LIRIS, les sociétés Corexpert – Lyon, Intellysurf – Lyon et KINIRO – Lyon.

Contribution : Encadrement de Patrice Bouvier (Post-doctorant sur le projet).

Projet BeInG - Be In Game

Implication : Responsable du projet.

Financeurs : ANRT et Artefacts Studio.

Durée : 28/01/2014-27/01/2017.

Partenaires : LIRIS Lyon 2, Société Artefacts Studio.

Contribution : Encadrement de Joseph Garnier (Thésard CIFRE).

Projet UFPI-EDF

Implication : co-responsable du projet.

Financeurs : ANRT et EDF-UFPI (Unité de Formation Production Ingénierie).

Durée : 01/09/2009-13/03/2012.

Partenaires : Laboratoire LIRIS – équipe SILEX et Unité de Formation Production Ingénierie d'EDF – Bugey.

Contribution : Encadrement de thèse d'Olivier Champalle.

Projet ITHACA² - Interactive Trace for Human Awareness in Collaborative Annotation

Implication : Participant.

Financier : L'Agence Nationale de la Recherche.

Durée : 2007-2010.

Partenaires : Laboratoire LIRIS – équipe SILEX (porteur), la société eLycée S.A.S – Marseille, laboratoire ICAR – Université Lyon 2, laboratoire TECFA – Université de Genève.

Contribution : Responsable de deux tâches : « Modélisation des traces d'interaction et d'utilisation » et « Déploiement, tests d'intégration et validation technique »

Projet DEEP - Dialogue fondé sur les Emotions, l'Expérience et la Personnalité adaptées aux jeux vidéo

Implication : Participant.

Financier : Recherche et Innovation en Audiovisuel et Multimédia.

Durée : 2006-2007.

² <http://liris.cnrs.fr/ithaca/>

Partenaires : Laboratoires LIP6 – Université Pierre et Marie Curie – et Cedric du CNAM et les entreprises QUANTIC DREAM et SpirOps.

Contribution : Proposition d'un modèle émotionnel prenant en compte les émotions, la personnalité et l'expérience dans l'interaction entre agents artificiels et/ou entre agents artificiels et agent humain.

Mes tâches pour les projets que j'ai pilotés étaient les suivantes :

- Montage et coordination avec les autres partenaires du projet ;
- Responsabilité de lots ;
- Présentation du projet devant le pôle de compétitivité Imaginove pour sa labellisation ;
- Montage et gestion du budget ;
- Recrutement et encadrement du personnel (stagiaire, doctorant ou post-doctorant) ;
- Rédaction des documents de suivi/bilan destinés aux financeurs.

En plus de ces projets, j'ai participé à deux projets transversaux³ financés par le laboratoire LIRIS. Il s'agit des projets :

- AIMOI : Apprentissage par Interaction et Motivation Intrinsèque dans un Contexte de Robotique Mobile (en 2012)
- Modélisation des comportements et des interactions pour la conception de systèmes d'assistance pour les personnes en perte d'autonomie (en 2013)

5. Tâches collectives et animations scientifiques

5.1 Expertises scientifiques

1. FRQNT : Fonds de recherche du Québec – Nature et technologies (<http://www.frqnt.gouv.qc.ca/index.htm>).
2. COFECUB : Comité Français d'Évaluation de la Coopération Universitaire et Scientifique avec le Brésil.

5.2 Prix

- Best Paper Award CSEDU 2013.
- Best Paper Award InCos 2009.
- Best Paper Award SKIMA 2009 (3 articles classés premier).

5.3 Organisation de manifestations

- Participation à l'organisation des Rencontres Jeunes chercheurs en EIAH'10 – Lyon.
- Organisation de l'atelier « Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain et Situations de Handicap » (<http://liris.cnrs.fr/ksehaba/EIAH-Handicap2013/>) dans le cadre de la conférence EIAH 2013 à Toulouse.
- Membre du comité d'organisation de la conférence Handicap 2014 (<http://ifraith.fr/handicap2014/>). Je m'occupais des demandes de subventions.

5.4 Séminaires invités

- Conférence Blend Web Mix, 2013.

³ <http://liris.cnrs.fr/projets-transversaux>

- Laboratoire L3i - La Rochelle, 2013.
- Laboratoire INSERM CNRS UMR5292, 2012.
- Laboratoire Praxiling, UMR 5267 Montpellier, 2011.
- École doctorale Neurosciences et Cognition – Université de Lyon, 2010.

5.5 Comités de programme et relecture d'articles

- **Comité de programme** : conférences JCKBSE (Springer,) Ingénierie de connaissances, Handicap, WACAI (Workshop Affect, Compagnon Artificiel, Interaction) et RàPC (Raisonnement à Partir de Cas).
- **Relecture d'articles de revues** : Journal of Abnormal Child Psychology, Knowledge-Based Systems Journal et STICEF.
- **Relecture d'articles de conférences** : AIED, ACM MM MIIRH, JOCAIR, IC, Handicap, RàPC, WACAI.

5.6 Responsabilités collectives et animations scientifiques

- Co-responsable de l'équipe SICAL⁴ du laboratoire LIRIS, CNRS UMR 5205. SICAL est une nouvelle équipe issue de l'équipe SILEX.
- Membre élu du Conseil d'Administration de l'Institut de la Communication de l'Université Lumière Lyon 2.
- Membre élu du Conseil d'Administration de l'IFRATH (Institut Fédératif de Recherche sur les Aides Techniques pour personnes Handicapées).
- Responsable du Master 2 Pro VCIel.

5.7 Collaborations internationales

- Algérie
 - Co-tutelle avec l'Université de Tlemcen,
 - Partenariat avec l'USTBH-Alger dans le cadre de la formation VCIel.
- Allemagne
 - Projet transversal du LIRIS,
 - ANR Franco-allemand déposé.
- Pakistan
 - Projet scientifique avec « Iqra University » (5 publications).
- Portugal
 - Accueil d'une post-doctorante dans le cadre du réseau d'excellence GALA (<http://www.galanoe.eu>).
- Suisse
 - Partenariat avec le laboratoire TECFA dans le cadre de projet ANR ITHACA,
 - Partenariat avec l'université de Genève dans de la formation VCIel.
- Tunisie
 - Partenariat avec l'école d'ingénieur de Sfax dans le cadre de la formation VCIel.

6. Publications

Articles de journaux internationaux avec comité de lecture	8
Articles de journaux nationaux avec comité de lecture	1

⁴ Situated Interaction, Collaboration, Adaptation and Learning

Articles de conférences internationales avec comité de lecture	24
Articles de workshops internationaux avec comité de lecture	3
Articles de conférences nationales avec comité de lecture	10
Édition scientifique d'ouvrages	1
Chapitre de livre	1

6.1 Articles de journaux internationaux avec comité de lecture

1. **K. Sehaba**, A Serna. Serious game for decoding social situations for adolescents with Asperger. *AMSE journals, Advances in modelling, series Modelling*. 2015 (à paraître).
2. P. Bouvier, **K. Sehaba**, E. Lavoué. A trace-based approach to identifying users' engagement and qualifying their engaged-behaviours in interactive systems. Application to a social game. *User Modeling and User-Adapted Interaction (UMUAI'14)*. pp. 1-43. 2014.
3. P. Bouvier, E. Lavoué, **K. Sehaba**. Defining Engagement and Characterizing Engaged-Behaviors in Digital Gaming. *Simulation and Gaming Journal (SAGE'14)*. pp. 1-14. 2014.
4. **K. Sehaba**, A.M. Hussaan. GOALS: Generator Of Adaptive Learning Scenarios. *International Journal of Learning Technology (IJLT'13)*. pp. 224-245, Inderscience. 2013.
5. **K. Sehaba**, A.M. Hussaan. Adaptive serious game for the re-education of cognitive disorders. *AMSE journals, Advances in modelling, series Modelling C 73(3):148-159*. 2013.
6. **K. Sehaba**. Système d'aide adaptatif à base de traces. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire (RITPU'12)*. 9(3):55-70. 2012.
7. D. Clauzel, **K. Sehaba**, Y. Prié. Enhancing synchronous collaboration by using interactive visualisation of modelled traces. *Simulation Modelling Practice and Theory 19(1):84-97*, Elsevier, ISSN 1569-190X. 2011
8. **K. Sehaba**, V. Courboulay, and P. Estrailier. Observation and analysis of behaviour of autistic children using an interactive system. *Technology and Disability Journal*. 18(4) :181–188, 2006

6.1 Articles de journaux nationaux avec comité de lecture

1. **K. Sehaba**, M. Hussaan. Architecture et modèles génériques pour la génération adaptative des scénarios de jeux sérieux. Application : Jeu d'évaluation et de rééducation cognitives. *Sciences et technologies de l'Information et de la Communication pour l'Education et la Formation*. pp. 1-30. 2015 (à paraître).

6.2 Articles de conférences internationales avec comité de lecture

1. M. Hussaan, **K. Sehaba**. Learn and Evolve the Domain model in Intelligent Tutoring Systems: Approach based on Interaction traces. Dans *CSEDU'14 - 7th International Conference on Computer Supported Education*. Barcelone, Espagne. pp 1-8. 2014.
2. B. Karami, **K. Sehaba**, B. Encelle. Learn to Adapt based on Users' Feedback. *IEEE RO-MAN'14 - The 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*. Edinburgh, Scotland, UK. pp. 1-6. August, 2014. (à paraître).
3. A.M. Hussaan, **K. Sehaba**. Extracting knowledge in a game-based learning environment from interaction traces. *European Conference on Game Based Learning (ECGBL'14)*. pp. 1-10. 2014.
4. P. Bouvier, E. Lavoué, **K. Sehaba**, S. George. Identifying Learner's Engagement in Learning Games: a Qualitative Approach based on Learner's Traces of Interaction. Dans *5th*

- International Conference on Computer Supported Education (CSEDU 2013), Markus Helfert ed. Aachen, Germany. pp. 339-350. 2013. Best Paper Award.
5. O. Champalle, K. **Sehaba**, A. Mille. Capitalize and share observation and analysis knowledge to assist trainers in professional training with simulation Case of training and skills maintain of Nuclear Power Plant control room staff. Dans CSEDU 2013 - 5th International Conference on Computer Supported Education, Markus Helfert ed. Aachen, Germany. pp. 627-632. 2013.
 6. A.M. Hussaan, K. **Sehaba**. Adaptive Serious Game for Rehabilitation of persons with cognitive disabilities. Dans The 13th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'13), Beijing. pp. 65-69. 2013.
 7. P. Bouvier, K. **Sehaba**, E. Lavoué, S. George. Using Traces to Qualify Learner's Engagement in Game-Based Learning. Dans 13th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'13), IEEE Computer Society ed. Beijing, China. pp. 432-436. 2013.
 8. A.B. Karami, K. **Sehaba**, B. Encelle. Towards Adaptive Robots based on Interaction Traces: A User Study. Dans The 16th International Conference on Advanced Robotics (ICAR'13). Montevideo. pp. 1-6. 2013.
 9. A.B. Karami, K. **Sehaba**, B. Encelle. Adaptive and Personalised Robots - Learning from Users' Feedback. Dans IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'13), IEEE ed. Washington DC. pp. 626-632. 2013.
 10. K. **Sehaba**. Sharing experiences between learners with different profiles : adaptation of interaction traces. The 12th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'12), Rome, Italy. pp. 488-492. ISBN 978-1-4673-1642-2. 2012.
 11. A.M. Hussaan, K. **Sehaba**. Generator of Adaptive Learning Scenarios : Design and Evaluation in The project CLES. Dans 7th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2012), Springer LNCS ed. Saarbrücken, Germany. pp. 166-179. 2012.
 12. O. Champalle, K. **Sehaba**, A. Mille. Observations models to track learners' activity during training on a Nuclear Power Plant Full-Scope Simulator. Dans 7th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2012), Springer LNCS ed. Saarbrücken, Germany. pp. 546-546. ISBN 978-3-642-33262-3. 2012.
 13. O. Champalle, K. **Sehaba**, D. Cosmas, A. Mille, Y. Prié. Assistance to trainers for the observation and analysis activities of operators trainees on Nuclear Power Plant Full-Scope Simulator. Dans International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS 2012), BUCHAREST, ROMANIA. pp. 33-40. IEEE Computer Society.
 14. A.M. Hussaan, K. **Sehaba**, A. Mille. Helping Children with Cognitive Disabilities through Serious Games: Project CLES. The 13th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, ASSETS 2011, Dundee, Scotland. pp 251-252. ACM New York, NY, USA. ISBN 978-1-4503-0920-2. 2011.
 15. O. Champalle, K. **Sehaba**, A. Mille, Y. Prié. A framework for observation and analysis of learners' behavior in a full-scope simulator of a nuclear power plant - Approach based on modelled traces. The 11th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (IEEE ICALT'11), Athens, Georgia, USA. pp. 30-31. ISBN 978-1-61284-209-7. ISSN 2161-3761. 2011.
 16. A.M. Hussaan, K. **Sehaba**, A. Mille. Tailoring Serious Games with Adaptive Pedagogical Scenarios : A Serious Game for persons with cognitive disabilities. The 11th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'11), Athens, USA. pp. 486-490. ISBN 978-1-61284-209-7. ISSN 2161-3761. 2011.

17. K. **Sehaba**. Adaptation of Shared Traces in e-learning Environment. The 11th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'11), Athens, Georgia, USA. pp 103-104. 2011.
18. K. **Sehaba**, S. Mailles-Viard Metz. Using interaction traces for evolutionary design support - Application on the Virtual Campus VCIel. Dans International Conference on Computer Supported Education (CSEDU'11), Verbraeck Alexander, Helfert Markus, Cordeiro José, Shishkov Boris ed. Noordwijkerhout, Netherlands. pp. 237-242. ISBN 978-989-8425-50-8. 2011.
19. A.M. Hussaan, K. **Sehaba**. A System for Generating Pedagogical Scenarios for Serious Games. Dans International Conference on Computer Supported Education (CSEDU'11), Verbraeck, Alexander and Helfert, Markus and Cordeiro, José and Shishkov, Boris ed. Noordwijkerhout, Netherlands. pp. 246-251. SciTePress. ISBN 978-989-8425-49-2. 2011.
20. D. Clauzel, K. **Sehaba**, Y. Prié. Modelling and visualising traces for reflexivity in synchronous collaborative systems. In International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS 2009), Barcelona, Spain. 2009.
21. K. **Sehaba**, S. Mailles-Viard Metz, S. Miguët. User Centered Design & E-Learning. The Case of the Virtual Campus VCIel. Dans The international conference on software, knowledge and information management and applications., Fès - Maroc. pp. 295-301. 2009.
22. A.-G. Bosser, G. Levieux, K. **Sehaba**, A. Bundia, V. Corruble, G. de Fondaumière, V. Gal, S. Natkin, N. Sabouret. Dialogs taking into account Experience, Emotions and Personality. 6th International Conference on Entertainment Computing (ICEC2007), in Lecture Notes in Computer Science (LNCS), pages 356-362, Springer. 2007.
23. K. **Sehaba**, N. Sabouret, V. Corruble. An emotional model for synthetic characters with personality. 2nd International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII), in Lecture Notes in Computer Science (LNCS), pages 749-750, Springer. 2007.
24. Bosser, A., Levieux, G., **Sehaba**, K., Buendia, A., Corruble, V., and de Fondaumière, G. 2007. Dialogs taking into account experience, emotions and personality. In Proceedings of the 2nd international Conference on Digital interactive Media in Entertainment and Arts (Perth, Australia, September 19 - 21, 2007). DIMEA '07, vol. 274. ACM, New York, NY, 9-12.
25. K. **Sehaba**, P. Estraillier. Exécution adaptative des jeux éducatifs pour des enfants autistes, Conférence International Ludovia'06, 5-7 juillet 2006, Saint-Lizier, Ariège.
26. K. Sehaba, P. Estraillier. Game execution control by analysis of player's behaviour. In ACE'06 (ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology), Hollywood, USA. 14th - 16th June 2006.
27. A. Ould Mohamed, V. Courboulay, K. Sehaba, M. Menard. Attention Analysis in Interactive software for children with autism. The Eighth International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility. pages 133 - 140, October 2006, Portland Oregon, USA.
28. K. Sehaba, P. Estraillier, D. Lambert. Interactive Educational Games for Autistic Children with Agent-Based System. 4th International Conference on Entertainment Computing (ICEC'05), number 3711 in Lecture Notes in Computer Science (LNCS), pages 422-432, Springer. September 2005, Sanda, Japan. [pdf]
29. K. Sehaba, V. Courboulay, P. Estraillier. Interactive system by observation and analysis of behavior for children with autism. 8th European conference for the advancement of assistive technology in Europe (AAATE'05), pages 358-362, IOS Press. September 2005, Lille. [pdf]
30. F. Colle, R. Champagnat, A. Prigent, M. Augeraud, and K. Sehaba. Scenario Analysis based on Linear Logic. In ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, 15th - 17th June 2005 Polytechnic University of Valencia(UPV), Spain, June 2005.

31. F. Collé, K. Sehaba, P. Estrailier. A framework for business simulator: a first experience . In proceedings of the Fifth International Conference on Enterprise Information System (ICEIS'03), vol. III, pp. 540-543. April 2003, Angers.

6.3 Articles de workshops internationaux avec comité de lecture

1. P. Bouvier, E. Lavoué, et K. **Sehaba**. Penser engagement et/ou présence pour l'apprentissage en environnements virtuels. Immersive Learning and Education workshop. in conjunction with EUROGRAPHICS 2014, Strasbourg, France, 7 April 2014.
2. A.B. Karami, B. Encelle, K. **Sehaba**. Towards social and adaptive companion robots: a position paper. Dans WACAI 2012 - Workshop Affect, Compagnon Artificiel, Interaction (WACAI'12). Grenoble. 2012.
3. K. **Sehaba**, B. Encelle, A. Mille. Adaptive TECHNOLOGY-ENHANCED LEARNING based on Interaction Traces. Dans In AIED'09 (14 International Conference on Artificial Intelligence in Education) workshop on "Towards User Modeling and Adaptive Systems for All (TUMAS-A 2009): Modeling and Evaluation of Accessible Intelligent Learning Systems", Brighton, UK. pp. 33-37. 2009.
4. K. **Sehaba**, P. Estrailier. A Multi-agent System for Rehabilitation of Children With Autism. In AAMAS-05 Workshop on Agent-Based Systems for Human Learning (ABSHL'05). July 2005, Utrecht, the Netherlands.

6.4 Articles de conférences nationales avec comité de lecture

1. A.B. Karami, K. **Sehaba**, B. Encelle. Apprentissage de connaissances d'adaptation à partir des feedbacks des utilisateurs. Dans IC'2014, les 25èmes Journées Francophones d'Ingénierie des Connaissances. Clermont Ferrand. pp 1-12. 2014.
2. K. **Sehaba**, A. Serna. Serious game pour le décodage des situations sociales chez les adolescents Asperger. Dans Handicap 2014, 8ème congrès sur les technologies d'assistance : de la compensation à l'autonomie. Paris. pp.1-6. 2014. (à paraître)
3. P. Bouvier, K. **Sehaba**, E. Lavoué, S. George. Approche qualitative pour identifier et qualifier l'engagement des joueurs à partir de leurs traces d'interaction. Dans IC'2013, Les 24èmes Journées Francophones d'Ingénierie des Connaissances. Lille, France. pp.1-16. 2013.
4. O. Champalle, K. **Sehaba**. Réutiliser les connaissances d'expert pour assister l'analyse de l'activité sur simulateur pleine échelle de conduite de centrale nucléaire - Approche à base de M-Trace. Dans EGC 2013 - 13e Conférence Francophone sur l'Extraction et la Gestion des Connaissances, Toulouse, France. pp. 115-120. Revue des Nouvelles Technologies de l'Information E.24. hermann 6 rue Labrouste, 75015 Paris. ISBN 978 2 7056 8656 7. 2013.
5. O. Champalle, K. **Sehaba**. Assistance aux formateurs pour l'observation et l'analyse des activités des opérateurs-stagiaires sur simulateurs pleine échelle de conduite de centrale nucléaire. Dans TICE 2012 (Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement), Lyon. pp. 20-30. 2012.
6. K. **Sehaba**, A.M. Hussaan. Jeux sérieux adaptatifs pour la rééducation des troubles cognitifs. Dans Handicap 2012, 7ème congrès sur les aides techniques pour les personnes handicapées, L'interdisciplinarité au service de la personne en quête d'autonomie, Jérôme Dupire, Jaime Lopez-Krahé, Guillaume Tiger ed. Paris. pp. 15-20. ISBN 978-2-9536899-2-1. 2012.
7. K. **Sehaba**. Partage d'expériences entre utilisateurs différents : adaptation des modalités d'interaction. Dans IC 2011 - 22èmes Journées Francophones d'Ingénierie des Connaissances, Chambéry, France. pp. 639-655. 2011.

8. O. Champalle, K. **Sehaba**, A. Mille, Y. Prié. Des transformations à bases de règles pour capitaliser et partager l'expertise d'observation de l'activité sur simulateur pleine échelle. Dans IC 2011 - 22èmes Journées francophones d'Ingénierie des Connaissances, Chambéry, France. 2011.
9. O. Champalle, K. **Sehaba**, A. Mille, Y. Prié. Observation et analyse de comportements collectifs et/ou individuels par la découverte de connaissances issues de l'exploitation d'un corpus de M-Traces d'activité sur simulateur pleine échelle. Dans EIAH 2011 - Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, Mons - Belgique. 2011.
10. J. Garnier, K. **Sehaba**, E. Lavoué, J.C. Marty. Dans WACAI 2014- Workshop Affect, Compagnon Artificiel, Interaction. Workshop Affect, Compagnon Artificiel, Interaction. pp. 1-6. Rouen. 2014.

6.5 Edition scientifique d'ouvrages

1. K. **Sehaba**, B. Encelle. Actes de l'atelier Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain et Situation de Handicap. 6ème Conférence sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH 2013), Toulouse. 41p. 2013.

6.6 Chapitre de livre

1. K. **Sehaba**, P. Estrailier. Contrôle d'exécution des jeux par analyse du comportement du joueur. Intelligence Artificielle et Jeux, Chapitre 11, pp. 201-220. Hermes. 2006.

6.7 Développement de logiciels

J'ai développé deux plates-formes, D3KODE et GOALS, dans le cadre des thèses d'Olivier Champalle et d'Aarij Hussaan respectivement. Ces plates-formes ont été testées sur le terrain avec des vrais utilisateurs.

D3KODE - Define, Discover and Disseminate Knowledge from Observation to Develop Expertise

D3KODE est une application Web permettant la représentation, la transformation et la visualisation de traces d'interaction. Ce logiciel a été développé dans le cadre de la thèse d'Olivier Champalle afin d'assister les formateurs d'EDF pour l'observation et l'analyse des activités des opérateurs-stagiaires sur simulateurs pleine échelle de conduite de centrale nucléaire. La plate-forme D3KODE a été testée au sein de l'Unité de Formation Production Ingénierie d'EDF (Bugey). Elle a aussi été utilisée dans le cadre du projet Rhône Alpes QUEJANT pour identifier et qualifier l'engagement des joueurs de jeux sociaux à partir de leurs traces d'interaction.

GOALS - Generator Of Adaptive Learning Scenarios

GOALS est application Web permettant la génération dynamique et adaptative de scénarios dans les serious games. Cette application a été développée et utilisée dans le cadre du projet CLES (Cognitive Linguistic Elements Stimulations). Ce projet porte sur un serious game pour l'évaluation et la rééducation des fonctions cognitives des personnes en situations de handicap. Cette application a été utilisée sur les jeux éducatifs de la société GERIP (<http://www.igerip.fr>). Elle a également été testée avec des personnes en situations de handicap, membres de l'association Handica Réussir (<http://www.handicareussir.com>).

Partie 2 : Activités de recherche

Introduction

Mes travaux de recherche ont été motivés, depuis le début de ma thèse, par l'objectif de concevoir des modèles et des outils génériques permettant aux systèmes informatiques de s'adapter à l'utilisateur, et plus généralement aux contraintes et propriétés du contexte d'usage. Ce dernier est défini par le triplet : utilisateur, plate-forme et situation d'interaction. Cet objectif m'a conduit dans un premier temps à m'intéresser, dans le cadre du domaine des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH), aux serious games dédiés aux personnes en situation de handicap cognitif. Ainsi, mes travaux de thèse, effectués au Laboratoire L3i de l'Université de La Rochelle, portaient sur le développement d'un environnement ludo-éducatif pour l'aide à la structuration des enfants avec autisme. Dans ce cadre, mon principal souci a été de définir des modèles et de développer des outils permettant, d'une part, *l'adaptation dynamique* des scénarios pédagogiques, et d'autre part *l'analyse du comportement de l'utilisateur*.

Concernant le premier point, l'approche que j'ai développée, basée sur le Raisonnement à Partir de Cas, consiste à produire dynamiquement des scénarios d'activités pédagogiques, sous forme de jeux vidéo, en se basant sur les propriétés de l'enfant et ses besoins spécifiques. La limite de notre approche ici résidait dans le fait que le processus de génération de scénarios ne prenait en compte que les aspects pédagogiques, c'est-à-dire : modèle du domaine, profil de l'utilisateur, etc. Ainsi, les aspects ludiques, tels que le modèle et les objets du jeu, n'étaient pas pris en compte, alors qu'ils pouvaient favoriser l'engagement de l'utilisateur dans le jeu et, par conséquent, dans l'activité d'apprentissage.

L'analyse du comportement était basée sur des indicateurs quantitatifs calculés à partir des activités de l'utilisateur sur l'environnement ludo-éducatif. Ces indicateurs étaient exploités par l'expert pédopsychiatre, via un système de visualisation, afin d'analyser les réalisations des apprenants et mettre à jour les connaissances du système.

C'est tout naturellement que j'ai ensuite été amené, dans le cadre d'un post-doctorat au Lip 6 à Paris, à élargir ce cadre de recherche à la modélisation des émotions pour les personnages non joueurs dans les jeux, à visée d'apprentissage en particulier, afin de favoriser l'immersion de l'utilisateur dans l'activité d'apprentissage. Plus précisément, j'ai développé des modèles formels permettant aux concepteurs de jeux de mettre en place des personnages non joueurs dotés de personnalités et capables d'exprimer, durant leurs interactions avec l'utilisateur apprenant, des émotions adaptées à la situation.

En tant que Maître de Conférences, et à travers l'encadrement de plusieurs stages de Master, de quatre doctorants (dont deux en cours) et de deux post-doctorants, j'ai étudié les problématiques soulevées durant mes travaux de thèse et de post-doctorat, sur *l'adaptation dynamique* et *l'analyse du comportement de l'utilisateur*, afin de proposer des solutions pour y remédier.

En effet, j'ai développé des architectures et des modèles génériques permettant de personnaliser les scénarios de jeu en prenant en compte à la fois les aspects pédagogiques, qui relèvent du domaine d'apprentissage cible, et les aspects ludiques (trame scénaristique, personnages, objets du jeu, etc.). L'originalité de ces modèles génériques est leur capacité à mettre en relation les mêmes concepts pédagogiques avec différents jeux et inversement, ce qui facilite la réutilisation des connaissances du domaine notamment. Je me suis également intéressé à la prise en compte des interactions sociales dans la perception et l'expression émotionnelles pour les personnages non joueurs dans les jeux vidéo.

Concernant l'analyse du comportement, j'ai développé des approches qualitatives à base de traces d'interaction pour :

- l'analyse du comportement de l'apprenant dans l'environnement d'apprentissage afin d'assister les formateurs dans le suivi et le contrôle de l'activité d'apprentissage ;

- l'extraction de connaissances d'adaptation pour permettre aux systèmes de s'adapter dynamiquement à différents contextes d'usage ;
- la qualification de l'engagement des utilisateurs dans les jeux pour assister le concepteur à adapter le jeu.

L'objectif de ce mémoire d'habilitation à diriger des recherches est de présenter l'ensemble des travaux réalisés durant ces sept dernières années. Ces travaux se situent à la croisée de plusieurs domaines : Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH), Ingénierie des Connaissances (IC), Interaction Homme-Machine (IHM), et ont comme domaine d'application privilégié le domaine du Handicap. Naturellement, ces travaux ont été effectués avec les stagiaires, doctorants ou post-doctorant que j'ai pu encadrer, ainsi que mes collègues enseignants-chercheurs de l'équipe SILEX, puis SICAL du laboratoire LIRIS, dans le cadre de différents projets menés en partenariat avec plusieurs structures académiques et industrielles. C'est pourquoi, cette présentation se fera à la première personne du pluriel.

Ce mémoire est organisé en 5 chapitres qui couvrent les différents aspects de nos travaux. Le premier chapitre décrit les principaux thèmes de nos travaux de recherche qui portent sur l'adaptation dynamique des systèmes interactifs. Après un positionnement scientifique de ces travaux, nous présentons les problématiques scientifiques auxquelles nous nous sommes intéressés, à savoir :

- adaptation dynamique des EIAH en général et des serious games en particulier ;
- extraction interactive de connaissances ;
- analyse du comportement de l'utilisateur à partir de traces.

Ensuite, nous abordons le contexte applicatif de nos recherches. Il s'agit de positionner les projets de recherche que nous avons menés par rapport à ces trois problématiques.

Le chapitre 2 est dédié à la problématique de l'adaptation dynamique des EIAH. Après quelques définitions des principaux concepts que nous utilisons, nous détaillons nos contributions sur l'adaptation dynamique (1) des *scénarios* dans les serious games, (2) des *traces partagées* dans les environnements d'apprentissage et (3) des *émotions* pour les personnages non joueurs dans les jeux. Pour chaque contribution, nous positionnons nos travaux par rapport aux approches existantes, puis nous détaillons les modèles théoriques que nous proposons. Afin d'illustrer ces modèles, nous présentons quelques applications que nous avons développées et des expérimentations que nous avons menées dans le cadre de différents projets.

La chapitre 3 traite de l'extraction interactive de connaissances. Nos travaux dans ce domaine ont porté sur la mise à jour des connaissances du domaine et du profil de l'utilisateur. Nous nous sommes également intéressés à l'extraction de connaissances d'adaptation à partir de traces. Pour chacune de nos contributions, nous présentons nos modèles, les applications que nous avons développées et quelques expérimentations.

La chapitre 4 porte sur l'analyse du comportement de l'utilisateur à partir de ses traces. Après une présentation du contexte scientifique de nos travaux dans ce domaine, nous détaillons notre approche d'analyse à base de traces. Il s'agit de décrire les modèles de traces et de transformations dédiés à l'analyse du comportement. Ces modèles ont été développés dans le cadre de la plate-forme D3KODE. Cette dernière a été utilisée dans deux projets. Le premier porte sur l'assistance aux formateurs pour l'analyse des activités des opérateurs stagiaires de centrales nucléaires, le deuxième concerne l'analyse de l'engagement des utilisateurs des jeux. Ces deux applications ainsi que les protocoles d'évaluation seront détaillés.

Le dernier chapitre est dédié à la conclusion et des perspectives de nos travaux.

Chapitre 1 : Thèmes de recherche et problématiques

1.1 Introduction

La conception de systèmes informatiques se situe entre uniformisation et adaptation du matériel et/ou de logiciels (Tarpin-Bernard, 2006). Alors que l'uniformisation garantit l'interopérabilité, la cohésion des pratiques et facilite la réutilisation, l'adaptation est caractérisée par sa flexibilité et sa souplesse d'usage, ce qui permet d'adapter l'interaction aux préférences, besoins et spécificités de l'utilisateur ainsi qu'à son contexte d'usage. Avec l'avènement de nouveaux dispositifs interactifs dans nos vies quotidiennes, et le caractère ouvert et massif de certaines applications Web notamment, la conception d'environnements informatiques s'oriente actuellement vers plus d'adaptation et de flexibilité dans l'interaction homme-machine.

Dans ce chapitre, nous présentons dans un premier temps un positionnement scientifique de nos travaux sur l'adaptation. Ensuite, nous détaillons les problématiques et le contexte de recherche de nos travaux dans ce domaine.

1.2 Positionnement scientifique

L'adaptation des systèmes informatiques à leurs utilisateurs a fait l'objet d'une panoplie de recherches ces dernières années (De Bra, Brusilovsky, Houben, 2000; De Bra & Stash, 2002 ; Brusilovsky, Hsiao, & Folajimi, 2011; Brusilovsky & Vassileva, 2003 ; Garlatti & Iksal, 2004 ; Garlatti & Iksal, 2000). Malgré cet intérêt, il s'avère qu'une confusion régnait à propos de cette notion et de ses différentes facettes : systèmes adaptés, adaptables et adaptatifs. Dans un système *adapté*, l'adaptation du système s'effectue durant la phase de conception. C'est donc le concepteur qui définit, avant la mise en place du système, les connaissances du domaine, les profils des utilisateurs et les interactions possibles. Il s'agit d'un système fermé qui manque d'évolutivité et de souplesse. Ce type de système nécessite une bonne maîtrise des différentes situations que l'utilisateur pourrait rencontrer ce qui n'est pas simple, particulièrement pour des applications complexes telles que les jeux où le nombre d'interactions possibles est souvent beaucoup trop important pour pouvoir toutes les prédire.

Dans un système *adaptable*, l'adaptation peut s'effectuer à tout moment mais uniquement sur demande explicite de l'utilisateur. L'utilisateur peut par exemple choisir manuellement les activités de son scénario, paramétrer chaque activité ou configurer son interface. L'adaptation ici est donc possible mais dans la mesure où le concepteur l'a prévue.

Un système est *adaptatif* « s'il est capable de changer automatiquement ses propres caractéristiques en fonction des besoins de l'utilisateur » (Oppermann, 1994). C'est donc un système qui s'adapte de lui-même, à chaque instant, aux besoins et aux habitudes de l'utilisateur. Pour cela, le système doit être capable d'observer et d'analyser les actions de l'utilisateur, d'apprendre de nouvelles connaissances à partir de ses interactions, et de réagir par des comportements adaptés en se basant sur les connaissances du domaine. Dans le cadre des environnements d'apprentissage notamment, ce type d'approche offre de nombreux avantages, parmi lesquels :

- L'ouverture de l'EIAH et sa capacité à apprendre de nouvelles connaissances ;
- La personnalisation des activités d'apprentissage ;
- La mise à jour du profil de l'utilisateur à partir des traces d'interactions.

Notre principale préoccupation est de produire des systèmes, des EIAH en particulier, qui s'adaptent à leur contexte d'usage. (Dey, 2001) définit le contexte d'usage comme « toutes les informations qui peuvent être utilisées pour caractériser la situation d'une entité. Une entité est une personne, un lieu, ou l'objet que l'on considère pertinent pour l'interaction entre un utilisateur et une application, y compris l'utilisateur et l'application eux-mêmes ». Une définition plus formelle est donnée dans (Rey & Coutaz, 2002) : « étant donné un utilisateur u , engagé dans une activité A , le contexte d'usage à l'instant t est la composition des situations entre les instants t_0 et t pour la

réalisation de \mathcal{A} par l'utilisateur u » en expliquant que la notion de situation traduit les « circonstances qui entourent l'action ».

Dans le domaine de l'adaptation des systèmes interactifs, le contexte d'usage est souvent défini par le triplet : <utilisateur, plate-forme, situation d'interaction> (Tarpin-Bernard, 2006) (Calvary, Coutaz, Thevenin, Limbourg, Bouillon, & Vanderdonckt, 2003) (Vanderdonckt, Grolaux, Van Roy, Limbourg, Macq, & Michel, 2005) où l'utilisateur est caractérisé par ses compétences, ses capacités (cognitives, motrices, perceptives, etc.) et ses préférences. La plate-forme est caractérisée par ses aspects physiques et logiques (logiciels). La situation d'interaction porte sur l'état de l'environnement dans lequel l'interaction s'effectue, tel que le bruit, la luminosité, la localisation géographique. En plus de ce triplet, (Tarpin-Bernard, 2006) ajoute l'activité menée par l'utilisateur.

Avant de présenter nos problématiques scientifiques, nous allons à présent aborder l'espace de conception de l'adaptation. Il s'agit des questions qu'il faut poser pour identifier le champ de l'adaptation. Plusieurs taxonomies ont été identifiées dans ce cadre (Thevenin, 2001) (Calvary, Coutaz, Thevenin, Limbourg, Bouillon, & Vanderdonckt, 2003) (Vanderdonckt, Grolaux, Van Roy, Limbourg, Macq, & Michel, 2005) (Rouillard, 2008) (Tarpin-Bernard, 2006). Nous présentons ici cinq dimensions, à savoir : Pourquoi adapter ? Qui adapte ? Quand adapter ? À quoi s'adapter ? Comment adapter ? Pour chacune des questions, nous précisons notre positionnement.

Pourquoi adapter ? De manière générale, le rôle de l'adaptation est d'accélérer et de simplifier l'utilisation du système informatique en minimisant l'effort de l'utilisateur consacré à l'exploration de ses fonctionnalités. (Weibelzahl, 2002) et (Jameson, 2001) mentionnent plusieurs exemples d'usage : aider l'utilisateur à trouver l'information, personnaliser l'information pour l'utilisateur, etc.

Position : faciliter l'apprentissage, adapter le scénario d'apprentissage à l'utilisateur, favoriser l'immersion et l'engagement de l'utilisateur dans l'apprentissage.

Quoi adapter ? L'adaptation peut porter sur le contenu, la présentation ou les modalités d'interaction (Sehaba, 2011). L'adaptation du contenu consiste à ajouter, supprimer ou à modifier les composants ou les activités (fonctionnalités, services, etc.) proposés par le système. L'adaptation de présentation concerne l'affichage de l'état et des propriétés du système. L'adaptation des modalités d'interaction porte sur la façon de faire pour réaliser une tâche donnée (cf. section 2.2.3).

Position : adaptation des scénarios d'apprentissage dans les serious games, des traces partagées dans les environnements d'apprentissage, et des émotions des personnages non joueurs dans les serious games.

Qui adapte ? Il s'agit d'identifier l'entité qui contrôle et réalise l'adaptation. Cette dernière peut être effectuée par l'utilisateur, par le système, ou par les deux conjointement. (Dieterich, Malinowski, Kühme, & Schneider-Hufschmidt) et (Kobsa, Koenemann, & Pohl, 2001) identifient cinq types d'acteurs qui peuvent intervenir dans le processus d'adaptation : le concepteur, l'administrateur, l'expert, l'utilisateur final et le système.

Position : adaptation automatique (système) et extraction interactive de connaissances (utilisateur et système)

Quand adapter ? Comme mentionné plus haut, l'adaptation peut s'effectuer durant la phase de conception du système, on parle dans ce cas de *système adaptable*, ou en cours de son exécution, il s'agit dans ce cas de *système adaptatif*. C'est donc l'opposition *dynamique* versus *statique* qui entre en considération pour distinguer l'adaptativité de l'adaptabilité (Rouillard, 2008).

Position : adaptation durant l'exécution du système (adaptativité), et extraction de connaissances a priori (adaptabilité)

À quoi s'adapter ? La cible d'adaptation peut être l'utilisateur, la plate-forme ou la situation d'interaction ou une combinaison de ces trois éléments. L'adaptation à l'utilisateur permet de prendre en compte ses connaissances, ses compétences et/ou ses capacités physiques et cognitives. L'adaptation à la plate-forme sous-entend une configuration adaptée aux matériels (périphériques et ressources disponibles par exemple) et logiciels (système d'exploitation par exemple) utilisés. La situation d'interaction porte sur la localisation, la lumière ambiante, le niveau sonore, la température dans lesquels se déroule l'interaction.

Position : adaptation au contexte d'usage (utilisateur, plate-forme et/ ou situation d'interaction)

Comment adapter ? Les stratégies d'adaptation sont diverses et variées. Parmi celles-ci, on trouve (Rouillard, 2008; Balint, 1995) :

- L'adaptation par activation / désactivation des composants ou des fonctionnalités (enabling) ;
- L'adaptation par modification du système en utilisant des composants prédéfinis (reconfiguration) ;
- Adaptation par transformation des composants et des activités du système ;
- Adaptation par génération d'activités en utilisant des connaissances prédéfinies.

Position : adaptation par génération et transformation.

Le tableau ci-après résume notre positionnement par rapport aux différentes questions de l'espace de conception de l'adaptation décrit précédemment.

Questions de l'espace de conception de l'adaptation	Positionnement
Pourquoi adapter ?	Faciliter l'apprentissage. Favoriser l'immersion et l'engagement de l'utilisateur dans l'apprentissage.
Quoi adapter ?	Adaptation des scénarios d'apprentissage dans les serious games, des traces partagées dans les environnements d'apprentissage, et des émotions des personnages non joueurs dans les serious games.
Qui adapte ?	Adaptation automatique (système) et extraction interactive de connaissances (utilisateur et système).
Quand adapter ?	Adaptation durant l'exécution du système (adaptativité), et extraction de connaissances a priori (adaptabilité).
À quoi s'adapter ?	Adaptation au contexte d'usage (utilisateur, plate-forme et/ou situation d'interaction).
Comment adapter ?	Adaptation par génération et transformation.

Tableau 1 : Espace de conception de l'adaptation, positionnement

1.3 Problématiques scientifiques

Notre principal objectif de recherche est de proposer des modèles permettant à l'EIAH adaptatif, et au serious game en particulier, de :

1. s'adapter au contexte d'usage en général, et à l'utilisateur en particulier ;
2. d'extraire des connaissances à partir de son interaction avec l'utilisateur ; et
3. d'analyser le comportement de l'utilisateur à partir de ses traces.

La Figure 1 illustre l'architecture du système sur laquelle nous nous appuyons. À partir du profil de l'utilisateur, des connaissances du domaine et des connaissances d'adaptation, le système génère des activités adaptées à l'utilisateur. Dans nos travaux, nous nous sommes concentrés sur la génération de scénarios, la production des émotions pour les personnages non-joueurs, et la transformation de traces partagées. Durant l'interaction, le système collecte toutes les actions de l'utilisateur et les enregistre dans des traces modélisées. Ces traces sont utilisées pour extraire de nouvelles connaissances ou pour mettre à jour des connaissances existantes. Nous nous sommes focalisés sur l'extraction de connaissances relatives au profil de l'utilisateur, au domaine cible et des connaissances d'adaptation. Les traces d'interaction sont également utilisées pour analyser le comportement de l'utilisateur.

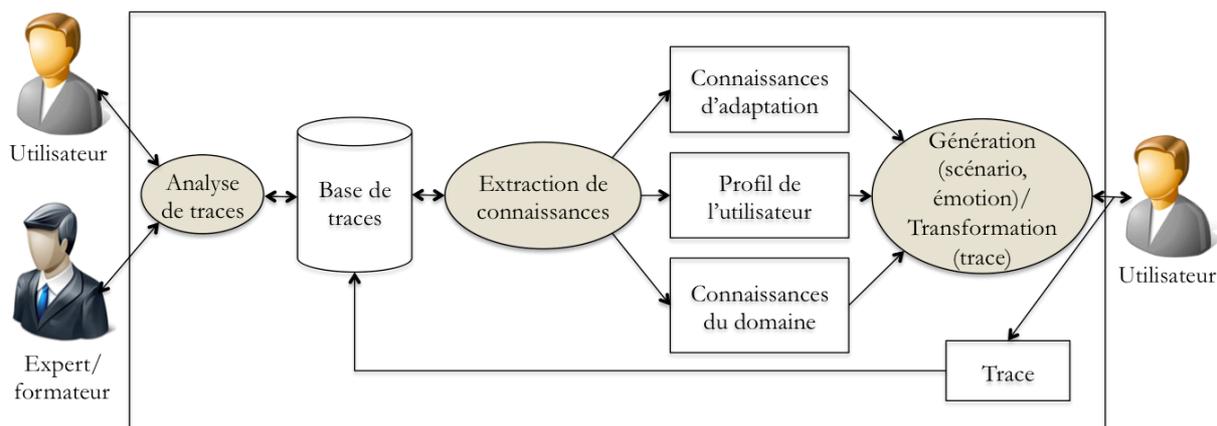


Figure 1 : Architecture générale des EIAH adaptatifs

Dans les sections suivantes, nous décrivons nos trois problématiques de recherche.

1.3.1 Adaptation

Nos travaux sur l'adaptation portent sur la génération d'activités adaptées aux contextes d'usages. Dans ce cadre, nous nous sommes intéressés à la génération de scénarios dans les serious games. Le scénario est défini comme une suite d'activités pédagogiques intégrées dans un environnement ludique permettant à l'utilisateur d'atteindre un ou plusieurs objectifs d'apprentissage. La problématique traitée consiste à personnaliser le scénario d'apprentissage à son utilisateur en prenant en compte les aspects pédagogiques et ludiques afin de favoriser l'engagement de l'utilisateur apprenant et ainsi rendre l'apprentissage plus efficace. Les modèles que nous avons proposés ont été mis en œuvre dans le cadre d'une plate-forme en ligne nommée GOALS (Generator Of Adaptive Learning Scenarios).

Nos modèles ont été appliqués dans deux projets. Le premier porte sur un serious game pour l'évaluation et la rééducation cognitive. Plus précisément, ce jeu vise la stimulation de huit fonctions cognitive : perception, attention, mémoire, langage oral, langage écrit, raisonnement logique, visuo-spatial et compétences transversales. La deuxième porte sur le décodage des situations sociales chez les adolescents Asperger.

Nous nous sommes également intéressés à l'adaptation des expériences partagées dans les environnements d'apprentissage. À la différence des *scénarios* qui nécessitent des connaissances explicites définies par l'expert du domaine généralement, *l'expérience* est une connaissance tacite qui relève d'une mise en situation dans un contexte particulier. Elle est représentée sous forme de *trace* qui peut être partagée avec d'autres apprenants afin de renforcer le transfert de compétences et le travail collaboratif entre apprenants. Dans ce cadre, nous avons cherché à transformer les traces partagées, par un utilisateur *source*, pour qu'elles soient adaptées aux utilisateurs *cibles* quels que soient leurs profils et besoins spécifiques. Notre approche a été appliquée aux partages d'expériences entre apprenants dans un environnement d'apprentissage en ligne. Elle a également été appliquée aux partages d'expériences, relatives à la navigation sur internet, entre utilisateurs avec et sans déficience visuelle.

Afin de favoriser l'immersion de l'utilisateur dans l'interaction avec le serious game, nous avons développé des modèles et des outils permettant aux concepteurs de jeu de mettre en scène des personnages non joueurs dotés de personnalités et capables d'exprimer des émotions adaptées à la situation lors de leurs interactions avec l'utilisateur.

1.3.2 Extraction de connaissances à partir des traces

La deuxième problématique porte sur l'extraction de connaissances à partir de traces d'interaction. Il s'agit d'acquérir de nouvelles connaissances ou de mettre à jour des connaissances existantes à partir des données issues des interactions entre l'utilisateur et l'environnement informatique. Ces données sont stockées dans des traces modélisées. D'une manière générale, une trace est un ensemble d'éléments observés temporellement situés⁵. On appelle élément observé, noté *obsel*, toute information structurée issue d'une observation. Les traces sont analysées à travers des mécanismes de transformation. Une transformation est un processus d'interprétation qui consiste à reformuler les séquences des éléments brutes en séquence d'éléments ayant un sens pour l'activité observée (Champin, Mille, & Prié, 2013).

Nos travaux ont porté sur la mise à jour du profil de l'utilisateur et des connaissances du domaine dans le cadre des environnements informatiques pour l'apprentissage humain. La mise à jour des connaissances du domaine consiste à modifier l'organisation des concepts du domaine cible ainsi que leurs relations avec les ressources pédagogiques sur la base des pratiques des utilisateurs. La mise à jour du profil consiste à faire évoluer les valeurs des attributs des différents concepts en fonction des performances de l'utilisateur.

Nos travaux se sont également portés sur l'extraction interactive de connaissances d'adaptation à partir des traces contenant les feedbacks des utilisateurs sur les actions du système. Nos propositions ont été appliquées sur un robot compagnon. Ce dernier propose des activités ludiques au sein des foyers.

1.3.3 Analyse de comportement à partir de traces

La troisième problématique consiste à analyser le comportement de l'utilisateur à partir des données issues de ses interactions avec l'environnement informatique. Par comportement, nous entendons un ensemble de réactions observables en réponse aux stimulations des objets d'intérêt de l'environnement informatique. L'identification du comportement est le résultat de l'analyse des actions de l'utilisateur, à différents niveaux d'abstraction, inscrit dans un processus d'interprétation. Formellement, un comportement est défini comme une chaîne d'actions effectuées sur le système. Une chaîne d'actions est une agrégation d'actions sélectionnées selon des contraintes structurelles, d'enchaînement et/ou temporelles (Bouvier, Sehaba, Lavoué, & George, 2013).

Nous nous sommes intéressés à l'analyse du comportement humain dans le cadre des EIAH. L'intérêt d'une telle analyse est de permettre à l'utilisateur de mieux comprendre sa propre activité ou de comprendre les comportements des autres utilisateurs. Pour l'apprenant, cette analyse peut lui faciliter la tâche d'apprentissage par des processus métacognitifs liés à une activité réflexive fondée sur la visualisation interactive de traces (Cram, Jouvin, & Mille, 2007). L'analyse du comportement permet aux tuteurs de suivre les réalisations et les évolutions de leurs apprenants afin d'adapter le processus d'apprentissage à leurs contextes d'usage. Pour l'expert, il s'agit de le doter d'un feedback sur le comportement des utilisateurs pour qu'ils puissent alimenter l'EIAH par des connaissances et des ressources pédagogiques qui couvrent toutes les situations d'apprentissage.

Nos travaux sur l'analyse du comportement ont porté sur l'assistance des formateurs pour l'analyse des activités des opérateurs-stagiaires sur simulateurs pleine échelle de conduite de centrale nucléaire, et sur l'analyse de l'engagement des apprenants dans les serious games.

⁵ Cette définition *générique* sera précisée en fonction du contexte dans les chapitres suivants.

1.4 Contexte de recherche

Nos contributions ont été développées et testées dans le cadre de plusieurs projets pluridisciplinaires en partenariat avec des structures académiques et industrielles. Parmi ces projets, figurent :

- CLES (Cognitive Linguistic Elements Stimulations) et PCO (Projets Collectifs de INSA Lyon) qui visaient le développement des serious games destinés aux personnes en situation de handicap cognitif.
- DEEP (Dialogue fondé sur les Emotions, l'Expérience et la Personnalité adaptées aux jeux vidéo) et BeInG (Be In Game) qui portent sur la perception et l'expression émotionnelles des personnages non joueurs dans les serious games.
- QUEJANT (Qualification de l'Engagement d'un Joueur à partir de l'Analyse de ses Traces) sur l'analyse de l'engagement des joueurs dans les jeux.
- ROBOT POPULI dont l'objectif est de développer un robot compagnon adaptatif capable de proposer des activités adaptées à l'utilisateur et d'apprendre à partir de ses interactions.
- UFPI-EDF qui vise l'assistance aux formateurs pour l'observation et l'analyse des activités des opérateurs-stagiaires sur simulateurs pleine échelle de conduite de centrale nucléaire.
- ITHACA (Interactive Trace for Human Awareness in Collaborative Annotation) sur la modélisation des traces d'interaction et d'utilisation dans les environnements collaboratifs d'apprentissage.

En plus de tous ces projets financés, j'ai conduit une recherche sur le partage d'expériences entre utilisateurs avec des profils très différents.

Projet	Problématiques		
	Adaptation	Extraction de connaissances	Analyse du comportement
CLES	Scénario dans les serious games (cf. section 2.3)	Profil, connaissance du domaine (cf. section 3.2)	Activité d'apprentissage (cf. section 2.3)
DEEP & BeInG	Émotion des personnages non joueurs (cf. section 2.5)		
QUAJANT			Engagement (cf. section 4.5)
Partage d'expériences	Trace partagée (cf. section 2.4)	Connaissance d'adaptation ⁶	
ROBOT POPULI		Connaissance d'adaptation (cf. section 3.3)	
UFPI-EDF			Activité d'apprentissage (cf. section 4.4)
ITHACA			Apprentissage collaboratif ⁷

Tableau 2 : Contexte des différentes problématiques

Le tableau ci-avant positionne ces différents projets par rapport à nos trois problématiques.

⁶ Travaux publiés dans (Sehaba, 2011) et (Sehaba, 2012)

⁷ Travaux publiés dans (Clauzel, Sehaba, & Prié, 2009) et (Clauzel, Sehaba, & Prié, 2011)

Chapitre 2 : Adaptation

2.1 Introduction

Nous avons vu précédemment que le système adaptatif est caractérisé par sa capacité à s'adapter à son contexte d'usage. Nous nous sommes intéressés à l'adaptation dynamique de l'EIAH à son utilisateur en prenant en compte son profil et ses besoins. Dans ce chapitre, nous nous concentrons sur (1) la génération de scénarios dans les jeux d'apprentissage, (2) l'adaptation de traces partagées dans les environnements d'apprentissage, et (3) la génération d'émotions pour les personnages non joueurs, dans les jeux vidéo, en les adaptant à la situation d'interaction. Pour chacune de ces trois contributions, le tableau ci-après décrit notre positionnement par rapport à *l'espace de conception de l'adaptation* présenté dans le premier chapitre (page 33).

Quoi adapter ?	Adaptation de scénarios d'apprentissage dans les serious games	Adaptation des traces partagées dans les EIAH	Adaptation des émotions des personnages non joueurs dans les serious games
Pourquoi adapter ?	Adapter le scénario sur ses aspects sérieux et ludiques afin de favoriser et rendre l'apprentissage plus efficace	Rendre la trace partagée perceptible et compréhensible à son utilisateur cible	Favoriser l'immersion et l'engagement de l'utilisateur dans l'apprentissage
Qui adapte ?	Adaptation par le système		
Quand adapter ?	Adaptation durant l'exécution du système (adaptativité)		
À quoi s'adapter ?	Utilisateur	Utilisateur et plate-forme	Situation d'interaction
Comment adapter ?	Par génération	Par transformation	Par génération

Tableau 3 : Positionnement de notre approche d'adaptation

Nous nous sommes donc intéressés à la génération adaptative des *scénarios pédagogiques* dans les serious games. Par scénario, nous entendons une suite d'activités pédagogiques, intégrées dans un environnement ludique, permettant à l'apprenant d'atteindre un ou plusieurs objectifs d'apprentissage. Notre objectif est de développer des modèles et des outils qui permettent de personnaliser le scénario d'apprentissage à son utilisateur en adaptant les aspects pédagogiques et les aspects ludiques.

Nous avons également étudié l'adaptation des *expériences partagées* dans les environnements d'apprentissage. Contrairement aux scénarios qui nécessitent des connaissances explicites définies par l'expert du domaine généralement, l'expérience est un type de connaissance tacite qui relève d'une mise en situation pratique dans un contexte particulier. L'expérience est représentée sous forme de *trace* qui peut être partagée avec d'autres utilisateurs pour favoriser le travail collaboratif et renforcer le transfert de compétences entre les apprenants. Dans ce cadre, nous nous sommes intéressés à la problématique de l'adaptation de la trace partagée au profil de son utilisateur cible. En effet, même si on peut supposer que les traces sont disponibles et accessibles, il semble peu probable qu'elles puissent aider l'utilisateur cible par une simple visualisation. Une exploitation directe ne peut être utile que dans une situation identique ou très proche de la situation dans laquelle la trace a été créée. Ainsi, notre objectif est de transformer les traces partagées, par l'utilisateur source, pour qu'elles soient adaptées aux compétences, aux préférences et aux capacités de l'utilisateur cible. Cette adaptation porte sur le contenu de la trace, sa présentation et ses modalités d'interaction.

Dans le cadre des jeux d'apprentissage, nous nous sommes attachés à prendre en compte la modélisation des émotions dans l'interaction entre le personnage non joueur et l'utilisateur. Ainsi, nous avons développé des modèles permettant aux concepteurs de jeux vidéo de mettre en scène des personnages non joueurs munis de personnalités et capables d'exprimer des émotions adaptées à la situation lors de leurs interactions avec l'utilisateur.

Ce chapitre est organisé en quatre grandes parties. La première est consacrée à la définition de certains concepts, à savoir : serious game, scénario et modalité d'interaction. Les trois parties suivantes présentent nos contributions (1) de génération de scénarios dans les jeux d'apprentissage, (2) d'adaptation de traces partagées dans les EIAH, et (3) de génération d'émotions pour les personnages non joueurs dans les jeux vidéo. Pour chacune de ces contributions, nous commençons par présenter la problématique en la situant par rapport aux travaux existants, ensuite nous détaillons les solutions théoriques que nous proposons, puis nous illustrons nos contributions à travers des applications et des expérimentations sur le terrain.

2.2 Définitions et positionnement

2.2.1 Serious game

Un jeu sérieux, ou *serious game*, est un jeu conçu dans un but autre que le seul divertissement (Michael & Chen, 2005) (Susi, Johannesson, & Backlund, 2007) : « *serious games are games used for purposes other than mere entertainment* ». Cette définition laisse penser que les serious games peuvent être informatisés ou non. Dans nos travaux de recherche, nous nous intéressons aux serious games informatisés. Il s'agit, selon (Zyda, 2005), d'un défi intellectuel lancé sur un ordinateur selon des règles spécifiques, qui utilisent le divertissement pour promouvoir la formation, l'éducation, la santé, la politique publique, la stratégie de communication, etc.

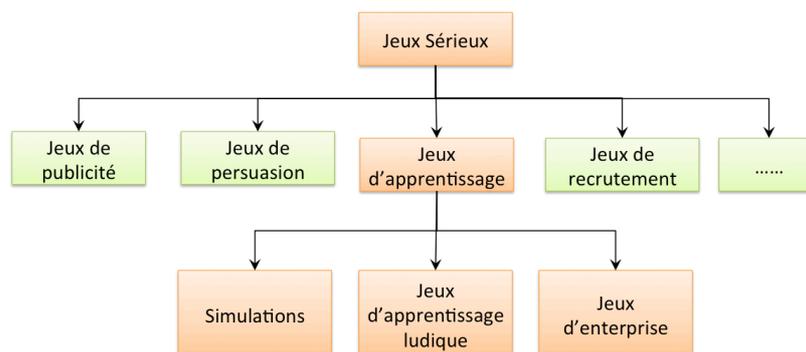


Figure 2 : Catégories des serious games (George, 2010)

Comme le montre la Figure 2 (George, 2010), les serious games peuvent être utilisés dans plusieurs domaines : publicité (Peters & Leshner, 2013), défense (Popescu, Romero, & Usart, 2013), santé (Demongeot, Elena, Taramasco, & Vuillerme, 2013), apprentissage (Obikwelu, Janet, & Gavin, 2013), etc.

Nous nous intéressons à un type particulier de serious games : les jeux d'apprentissage (*learning game*). Ce type de jeux rend l'apprentissage plus attractif à travers des défis ludiques qui suscitent la motivation et l'engagement des apprenants. Nos travaux, dans ce cadre, portent principalement sur les jeux d'apprentissage dédiés aux personnes en situation de handicap.

Dans la majorité des jeux d'apprentissage actuels, les scénarios sont fortement couplés aux ressources du jeu. Or, plusieurs chercheurs affirment que la conception d'un jeu d'apprentissage nécessite deux démarches, pédagogiques et de divertissement, qui doivent être menées de manière successive (Zyda, 2005) ou simultanée (Alvarez, 2007). En ce sens, nous proposons une démarche et une architecture générique permettant de séparer les aspects sérieux, relatifs à l'apprentissage des concepts du domaine, des aspects ludiques relatif aux ressources et aux ressorts du jeu. L'avantage d'une telle organisation est de favoriser la réutilisation des connaissances et de faciliter leurs mises à jour. Cette architecture est détaillée dans la section 2.3.2.

2.2.2 Scénario pédagogique

Pour (Peter & Vantroys, 2005), un scénario pédagogique doit spécifier l'ensemble des activités d'apprentissage qui doivent être effectuées par les apprenants et les tuteurs, l'enchaînement de ces activités, les objets d'apprentissage ainsi que les outils qui doivent être fournis aux différents acteurs. Dans (Schneider, Synteta, Frété, Girardin, & Morand, 2003), le scénario est défini comme étant une séquence d'étapes dans lesquelles les apprenants ont un certain nombre de tâches à réaliser et des rôles spécifiques à jouer. Pour (Viviane, Adam, Pernin, Gaëlle, & David, 2004), le scénario pédagogique est spécifié par les formateurs et mis en œuvre dans une classe virtuelle à travers des situations d'apprentissage. Il permet également d'assister les formateurs dans leur tâche de suivi.

Selon (Tetchueng, Garlatti, & Laube, 2008), un scénario doit décrire les activités d'apprentissage permettant aux apprenants d'acquérir certaines connaissances du domaine et de savoir-faire pour résoudre un problème particulier. Le scénario ici est défini à partir des dimensions suivantes : le domaine d'apprentissage, l'apprenant, son savoir-faire et ses niveaux de connaissances, le tuteur, les ressources, le modèle pédagogique, les procédures d'apprentissage et le type de classe (en présentiel ou à distance). Pour (Ullrich & Melis, 2009), un scénario est une série d'activités pédagogiques générée par le système, pour un apprenant en se basant sur son profil, afin d'atteindre un objectif d'apprentissage.

Au travers de ces différentes définitions, nous pouvons retenir que le scénario est caractérisé par ses utilisateurs (apprenant tout seul, ou apprenant et tuteur), l'objectif d'apprentissage, les ressources pédagogiques et leur enchaînement. Néanmoins, ces définitions n'intègrent pas la dimension ludique et de défi des jeux d'apprentissage. (Alvarez, 2007) propose de définir le scénario d'un serious game comme une fonction dédiée à un objectif pédagogique, dont la propriété est de susciter l'envie d'apprendre et dont la réalisation dépend d'un jeu vidéo avec lequel elle puisse s'intégrer. Par pédagogie, l'auteur entend une méthode destinée à entraîner, exercer, instruire, ou encore informer un ou plusieurs utilisateurs dans n'importe quel domaine en dehors du seul divertissement. À partir de cette définition et celle de (Ullrich & Melis, 2009), nous considérons un scénario comme une suite d'activités pédagogiques, intégrées dans une activité ludique, permettant à l'apprenant d'atteindre un ou plusieurs objectifs pédagogiques.

2.2.3 Modalité d'interaction

La notion de modalité a diverses acceptions selon le domaine d'étude. Dans la littérature, on distingue deux points de vue sur la définition de ce terme, à savoir (Raisamo, 1999) : le point de vue centré sur la perception et le contrôle humain et le point de vue centré sur l'interaction homme-machine.

Dans le cadre des travaux centrés sur la perception et le contrôle humain, la notion de modalité a fait l'objet de plusieurs définitions dans différents domaines tels que la psychologie, les neurosciences ou encore la neurobiologie. La notion de modalité dans ces travaux est fortement liée à la perception ou à la sensibilité sensorielle. Les limites de ces définitions résident principalement dans le fait qu'elles ne considèrent pas le dispositif d'interaction. Également, certains sens ne sont pas traités par les applications informatiques actuelles.

Dans le cadre de l'interaction homme-machine, la modalité selon (Bernsen, 1997) est considérée comme un système représentationnel de l'information dans un format physique et correspond à une sortie de la communication homme-machine. La modalité ici est définie par un *médium d'expression* qui peut être graphique, acoustique ou haptique, et un *profil* qui regroupe des propriétés qui peuvent être linguistique ou non, analogique ou non, arbitraire ou non, et statique ou dynamique. Par exemple, la modalité *langue naturelle écrite* a pour médium le graphique, et pour profil le quadruplet « linguistique, non analogique, non arbitraire, statique ». Cette définition, dédiée uniquement aux interfaces de sortie, ne s'applique pas à notre problématique, d'adaptation de traces partagées, qui vise à représenter les modalités dans les traces d'interaction, censées représenter les actions de l'utilisateur, donc centrées spécialement sur les modalités d'entrées.

Pour (Archambault, 2010) (Bellik, 1995), une modalité est définie par la structure des informations échangées telle qu'elle est perçue par l'être humain. Par exemple, le bruit, la parole et la musique sont des modalités différentes même si elles sont issues du même mode (sonore). Cette définition est centrée sur la perception humaine. En effet, pour chaque action tracée, il faut une description de sa perception par l'utilisateur. Par conséquent, cette définition est difficile à mettre en œuvre dans notre contexte.

(Martin, 1995) évoque la modalité comme un processus d'analyse opérant sur des ensembles de données d'entrées-sorties. La modalité ici est définie comme la manière d'utiliser un média. Par exemple, le média stylo électronique peut être utilisé selon plusieurs modalités : écriture, geste de dessin ou geste de commande. (Nigay, 2001) définit la modalité par la structure des informations échangées en lien avec le dispositif physique utilisé pour les présenter. Par exemple, un texte affiché sur une tablette tactile ou présenté à travers un système de synthèse de parole identifie deux modalités différentes. Formellement, la modalité selon (Nigay, 2001) est un couple composé :

- d'un dispositif physique : un ou plusieurs médias qui permettent l'acquisition et/ou la diffusion des informations ;
- d'un langage d'interaction : un ensemble d'expressions bien formées et significatives pour le système informatique.

Cette définition ne va pas à l'encontre de celle de (Martin, 1995). En effet, la modalité en tant que processus et ensemble de données d'entrées-sorties peut être rapprochée de celle de langage d'interaction. Dans notre approche, nous retenons la définition de (Nigay, 2001) car nous pensons qu'elle est la plus appropriée pour représenter les modalités dans les traces dans la mesure où elle est clairement centrée sur la perception des systèmes informatiques (même si elle peut s'appliquer à l'humain).

2.3 Génération adaptative de scénarios dans les serious games

2.3.1 Problématique et positionnement scientifique

Notre objectif est de définir des modèles de représentation et de raisonnement permettant la génération adaptative de scénarios pédagogiques dans le cadre des jeux d'apprentissage. Le scénario généré doit tenir compte du profil de l'utilisateur, ses objectifs d'apprentissage ainsi que ses traces d'interaction. Afin de réaliser cet objectif, nous avons retenu deux propriétés : *généricité* et *extensibilité*.

Par *généricité*, nous entendons la capacité du générateur de scénarios à être *indépendant* du domaine d'application, donc en mesure d'être utilisé dans plusieurs domaines d'apprentissage et plusieurs jeux. En effet, les serious games dont les aspects ludiques sont fortement couplés aux éléments pédagogiques présentent plusieurs inconvénients. Ces approches ne supportent pas la réutilisation d'un même jeu dans plusieurs domaines d'apprentissage et vice-versa. Également, tout changement dans les connaissances du domaine d'apprentissage implique des modifications des éléments du jeu, ce qui peut être très contraignant pour les concepteurs. Pour répondre à ces limites, nous proposons d'organiser les connaissances du domaine en trois couches : concepts du domaine, ressources pédagogiques et ressources du jeu. Cette organisation permet, d'une part, de faire évoluer les éléments d'une couche donnée sans remettre en cause les éléments des autres couches, et d'autre part de mettre en relation les mêmes connaissances du domaine avec différents jeux.

L'*extensibilité* est la capacité du générateur de scénarios à faire évoluer ses connaissances à partir de ses interactions avec les utilisateurs. En effet, dans la majorité des jeux actuels, les interactions entre les apprenants et le jeu sont prédéfinies par le concepteur durant la phase de conception selon un certain nombre d'hypothèses. Ces jeux ne tiennent pas compte de l'historique de l'utilisateur et de son

évolution. Ils souffrent ainsi de nombreux inconvénients, car ils ne s'adaptent pas facilement aux différentes situations rencontrées dans la pratique. En outre, la conception d'un jeu disposant d'une représentation complète des besoins et des spécificités de ses utilisateurs n'est pas chose facile pour le concepteur. Pour combler ces lacunes, notre approche consiste à exploiter les traces d'interaction afin de mettre à jour le profil de l'utilisateur et les connaissances du domaine. Cette approche est présentée dans le chapitre 3.

Dans les paragraphes suivants, nous présentons une synthèse des travaux existant sur la génération de scénarios dans les serious games et dans les EIAH en général.

Générateur de scénarios dans les serious games

La génération de scénarios dans les serious games a fait l'objet de plusieurs recherches. (Carron, Marty, & Heraud, 2008) propose un environnement d'apprentissage basé sur une représentation graphique des activités éducatives. Il s'agit d'un donjon pédagogique permettant à chaque apprenant de collecter des connaissances relatives à l'activité d'apprentissage. Le scénario est défini par une séquence d'activités d'apprentissage représentée par la topologie générale du donjon. Les traces d'interaction sont utilisées par l'enseignant pour contrôler et réguler en temps réel le déroulement du scénario.

Dans (Hodhod, Kudenko, & Cairns, 2009), les auteurs présentent un serious game dédié à l'enseignement de l'éthique. Ce jeu est destiné aux élèves entre 8 et 11 ans. La génération de scénarios utilise le planificateur STRIPS (STanford Research Institute Problem Solver). Le système développé, appelé AEINS⁸, est capable d'analyser les actions des utilisateurs, de contrôler et de personnaliser dynamiquement le scénario d'apprentissage.

(Moreno-Ger, Sierra, Martínez-Ortiz, & Fernández-Manjóna, 2007) propose une approche de scénarisation à base de documents. Le principe consiste à décrire le scénario du jeu dans un langage, appelé *e-game*, s'appuyant sur une représentation XML. Les auteurs ont ensuite développé le langage e-adventure (Moreno-Gera, Burgos, Martínez-Ortiz, Luis Sierra, & Fernández-Manjóna, 2008). Ce dernier permet une génération dynamique des scénarios à partir des chemins prédéfinis par un expert du domaine. La génération consiste à sélectionner le bon chemin sur la base d'un pré-test auquel les élèves doivent répondre.

(Marne, Thibault, & Labat, 2013) propose un modèle permettant d'aider le tuteur à adapter le scénario du jeu à ses besoins spécifiques. Le scénario dans ce modèle est découpé en séquences d'activités définies par des objectifs pédagogiques et ludiques. Ces activités comportent des états d'entrées (caractérisés par des prérequis pédagogiques et ludiques) capables de déclencher un mode précis, et des états de sortie (caractérisés également par des objectifs pédagogiques et ludiques). Ce modèle permet de construire des parcours avec des branchements de précédence plus ou moins complexes.

Générateur de scénarios dans les EIAH

(Vassileva & Deters, 1998) propose un outil de génération de scénarios adaptatifs appelé "Dynamic Courseware Generator" (DCG). En fonction des objectifs pédagogiques et du profil de l'apprenant, ce générateur utilise un planificateur intelligent pour identifier l'ensemble des chemins qui relient les concepts maîtrisés par l'apprenant et les concepts cibles. Ensuite, il sélectionne parmi tous les chemins possibles une suite de concepts. Cette dernière est mise en relation avec des ressources pédagogiques.

Le moteur d'adaptation d'AHA! (De Bra, et al., 2003) permet de guider l'utilisateur dans sa navigation hypertextuelle. Pour cela, à partir du modèle utilisateur, ce système détermine les fragments qui devraient être montrés à l'utilisateur. Ces fragments sont constitués de liens hypertextes et des informations les plus pertinentes pour l'utilisateur.

⁸ Adaptive Educational Interactive Narrative System

Pixed⁹ (Heraud, France, & Mille, 2004) s'appuie sur la réutilisation de scénarios. Il s'agit de proposer aux apprenants consultant un cours en ligne de réutiliser les parcours d'apprentissage d'autres apprenants. L'utilisation de Pixed peut se faire selon trois modes : linéaire, assisté et libre. Dans le mode du chemin linéaire, Pixed propose à l'apprenant une séquence d'activités éducatives. Pour cela, le système choisit les concepts (appelés *notions*) à apprendre, les met dans le bon ordre, puis il les associe aux ressources pédagogiques. Le mode assisté propose à l'apprenant un chemin linéaire où l'apprenant a la possibilité de choisir des concepts proches de ceux du chemin linéaire. Dans le mode libre, l'apprenant peut choisir les concepts qui l'intéressent ainsi que les ressources pédagogiques associées.

Le projet de recherche WINDS¹⁰ (Kravcik & Specht, 2004) porte sur la construction d'un environnement d'apprentissage intégrant un système tutoriel intelligent, un système de gestion de cours et un ensemble d'outils coopératifs. Dans ce cadre, l'environnement ALE (Adaptive Learning Environment) permet de produire des cours personnalisés, basés sur des hypermédias éducatifs adaptatifs, en fonction de l'état courant de l'apprenant, ses préférences et son style d'apprentissage.

ActiveMath (Libbrecht, Melis, & Ullrich, 2001) est un système d'apprentissage en ligne qui génère dynamiquement des cours (de mathématiques) interactifs adaptés aux objectifs, préférences, capacités et connaissances de l'élève. Les objets d'apprentissage sont représentés dans un format XML. Pour chaque utilisateur, un contenu approprié est sélectionné à partir d'une base de connaissances selon des règles pédagogiques. Le cours est ensuite présenté à l'utilisateur via un navigateur Web.

Le générateur de scénarios de la plate-forme Paigos (Ullrich & Melis, 2010) utilise un planificateur HTN. La planification est effectuée en décomposant les tâches principales en sous-tâches, puis en appliquant des opérateurs sur des tâches primitives (tâches réalisables par des opérateurs) pour produire des actions.

Synthèse

Dans le domaine des EIAH, les générateurs de scénarios sont caractérisés par leur capacité à produire des suites d'activités pédagogiques personnalisées à chaque utilisateur. Pour cela, ces générateurs prennent en compte les connaissances du domaine ainsi que le profil de l'utilisateur. Comme le montre l'état de l'art ci-dessus, certains de ces générateurs, notamment (De Bra, et al., 2003; Heraud, France, & Mille, 2004; Vassileva & Deters, 1998), sont génériques, néanmoins leur utilisation dans les jeux d'apprentissage nécessitent un effort considérable dans la mesure où ils ne prennent pas en compte le modèle du jeu et ses aspects ludiques et de divertissement.

Dans le cadre des jeux d'apprentissage, les approches de génération de scénarios étudiées modélisent les ressources du jeu et leurs relations avec les ressources pédagogiques, néanmoins certaines de ces approches sont dépendantes du domaine d'application (par exemple, (Chang & Chou, 2008) pour l'apprentissage du langage C ou (Hodhod, Kudenko, & Cairns, 2009) pour l'enseignement de l'éthique) ou nécessitent le contrôle humain dans le processus de génération (Carron, Marty, & Heraud, 2008; Chang & Chou, 2008). Le contrôle manuel peut être très contraignant dans des jeux en ligne où le nombre d'utilisateurs est généralement très important.

Les approches proposées dans (Hodhod, Kudenko, & Cairns, 2009; Moreno-Ger, Sierra, Martínez-Ortiz, & Fernández-Manjóna, 2007) sont capables de générer dynamiquement des scénarios personnalisés. Ces générateurs reposent sur des systèmes à base de règles (Hodhod, Kudenko, & Cairns, 2009) ou des scénarios prédéfinis (Moreno-Ger, Sierra, Martínez-Ortiz, & Fernández-Manjóna, 2007), elles nécessitent donc un effort important de modélisation. Également, la mise à jour des connaissances est difficile. En outre, la modélisation du modèle du jeu ainsi que ses aspects ludiques n'est pas prise en compte dans ces systèmes.

⁹ Project Integrating eXperience in Distance Learning

¹⁰ Web-based Intelligent Design and Tutoring System

2.3.2 Architecture et formalisation

Comme le montre la Figure 3, l'architecture du système que nous proposons comporte trois couches : concepts du domaine, ressources pédagogiques et ressources du jeu. Comme son nom l'indique, la première couche contient les concepts du domaine. Ces derniers sont organisés sous forme de graphe sans cycle où les nœuds du graphe correspondent aux concepts, et les liens entre les nœuds correspondent aux relations entre concepts.

Chaque concept est caractérisé par un identifiant unique et un ensemble de propriétés (nom, description, auteur, etc.) et chaque relation est caractérisée par son concept source, ses concepts cibles, un ensemble de propriétés et une fonction permettant de propager l'information dans le graphe afin de mettre à jour le profil de l'utilisateur. Ce dernier est représenté par un ensemble de propriétés de la forme « attribut, valeur » où *attribut* correspond à un concept du domaine et *valeur* correspond au niveau de compétence de l'utilisateur concernant ce concept. Comme le montre la Figure 3, chaque ressource pédagogique peut être en relation avec un ou plusieurs concepts du domaine. Cette relation exprime que la ressource en question permet d'appréhender le concept avec lequel elle est liée.

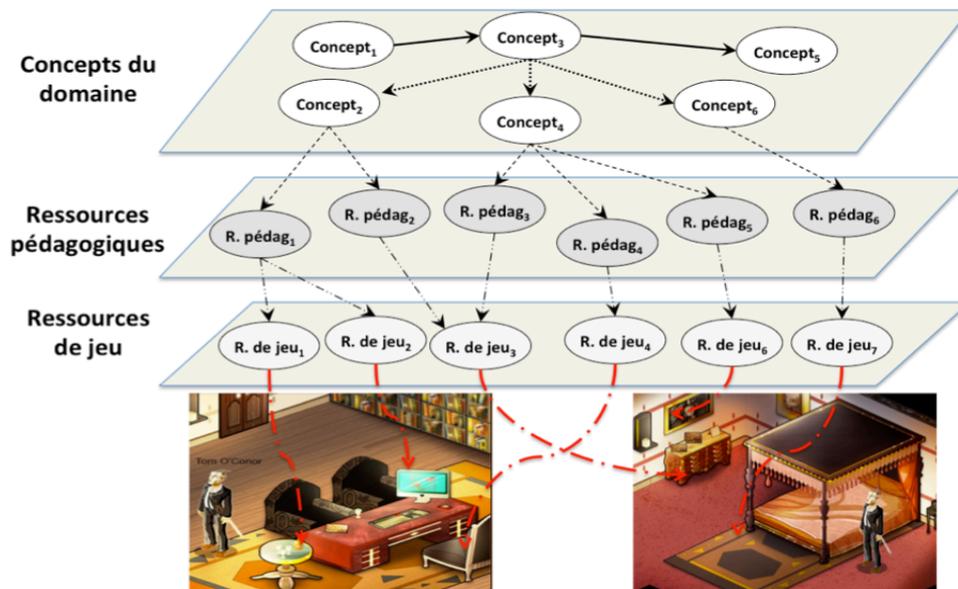


Figure 3 : Architecture du générateur de scénarios

Dans les sections suivantes, nous présentons les formalisations que nous adoptons pour la représentation des concepts, des ressources pédagogiques et des ressources du jeu.

Modélisation des concepts du domaine

Formellement, le modèle des concepts du domaine (CD) est défini comme suit : $CD = \langle N, L \rangle$, où N et L représentent respectivement l'ensemble des concepts du domaine pédagogique et l'ensemble des relations entre les différents concepts. Pour chaque concept $C \in N$: $C = \langle id, P \rangle$, où id est un identifiant unique du concept C , et P est un ensemble de propriétés décrivant le concept tel que \langle auteur, "Martin Michel" \rangle , \langle date-de-crédation, "1-08-2014" \rangle , \langle description, "la perception permet à un individu d'interpréter les signaux de l'environnement perçus par ses sens..." \rangle .

De même, pour chaque relation $R \in L$, $R = \langle C_{From}, T, RC+ \rangle$, tel que C_{From} est le concept source de la relation. T est le type de la relation, avec : $T = \langle Nom, Description, FType \rangle$ où Nom est le nom de la relation, $Description$ est une description textuelle de la relation, et $FType$ est une fonction qui permet de calculer les dépendances entre les concepts cibles C_{To} et leur concept source C_{From} . Cette fonction est utilisée pour mettre à jour le profil de l'utilisateur à partir de ses performances.

RC = <CTo, F, Valeur>, où CTo est le concept cible dans la relation R. F et Valeur expriment l'impact de CTo sur CFrom. Elles sont utilisées par FType pour calculer les dépendances entre les concepts de la relation en question.

À partir de cette formalisation, on peut créer plusieurs types de relations. Pour l'exemple, nous présentons deux types :

- Fait-partie (x, y₁... y_n) : indique que les concepts cibles y₁, y₂,... y_n sont des sous-concepts du concept x. Par exemple, Fait-partie (perception, perception-auditive, perception-visuelle).
- Prérequis (x,y) : indique que pour apprendre le concept y il est nécessaire d'avoir une connaissance suffisante du concept x. Par exemple, Prérequis (perception visuelle, langage écrit) signifie que le langage écrit nécessite des capacités de perception visuelle.

Modélisation des ressources pédagogiques

La deuxième couche contient les ressources pédagogiques. De manière générale, une ressource pédagogique est une entité utilisée dans un processus d'enseignement, de formation ou d'apprentissage permettant de véhiculer, de transmettre ou d'appréhender des concepts pédagogiques. Les ressources peuvent être de différentes natures : définition, exemple, exercice, qcm, etc. Chaque ressource pédagogique est définie par un identifiant unique, un type, des paramètres, une fonction d'évaluation et un ensemble de caractéristiques.

Formellement, une ressource pédagogique (RP) est définie comme suit :

RP : <id, Type, Paramètres, Fonction-d'évaluation, Solution, Caractéristiques, Concepts-en-relation>

- Id : un identifiant unique de la ressource pédagogique ;
- Type : ce champ spécifie la nature de la ressource pédagogique, qui peut être une *description* (définition, exemple, illustration, etc.), une *démonstration* (preuve, théorème, etc.) ou un *test* (exercice, problème, qcm, etc.) ;
- Paramètres : il s'agit des paramètres qui fixent le niveau de difficulté de la ressource pédagogique ;
- Fonction-d'évaluation (optionnelle) : elle concerne les ressources pédagogiques de type test. Elle est utilisée pour évaluer la réponse de l'apprenant ;
- Solution (optionnelle) : contient la réponse de l'apprenant aux ressources pédagogiques de type test ;
- Caractéristiques : Il s'agit des méta-informations concernant la ressource telle son auteur, sa date de création, etc ;
- Concepts-en-relation : contient la liste des concepts en relation avec la ressource pédagogique en question. Pour chacun de ces concepts, il est associé la compétence requise (représentée par une valeur appartenant à l'intervalle [0,1]) pour pouvoir accéder à la ressource. Ainsi, cette liste est représentée comme suit : <C1, compétence-requise-C1>, <C2, compétence-requise-C2>...

Modélisation des ressources du jeu

La troisième et dernière couche comporte les ressources du jeu. Ces dernières sont des objets statiques ou munis de comportements interactifs ou proactifs. Dans notre modèle, nous ne considérons que les ressources du jeu en relation avec les ressources pédagogiques. Chaque ressource de jeu est définie par un identifiant, des relations avec les ressources pédagogiques et un ensemble de caractéristiques.

Formellement, chaque ressource de jeu (RJ) est définie comme suit :

RJ = <Id, Caractéristiques, Relations-Pédagogiques>

- Id : un identifiant unique de la ressource de jeu ;

- Caractéristiques : sont des méta-informations concernant la ressource telles que son auteur, sa date de création, son type, etc ;
- Relations-Pédagogiques : contient toutes les ressources pédagogiques en relation avec la ressource de jeu en question.

Dans la section suivante, nous présentons le processus de génération de scénarios.

2.3.3 Génération de scénarios

La génération de scénarios passe par trois étapes. Il s'agit, à partir du profil de l'utilisateur et de ses objectifs pédagogiques, de générer un scénario conceptuel. Ce dernier est une suite de concepts sélectionnés parmi l'ensemble des concepts de la première couche. Le scénario conceptuel est ensuite transformé en scénario pédagogique. Pour cela, le générateur sélectionne pour chaque concept du scénario conceptuel une ou plusieurs ressources en relation avec celui-ci. Cette sélection tient compte du *modèle de présentation* et des *connaissances d'adaptation*. Le premier permet de structurer les ressources pédagogiques en fonction de leur type. Les connaissances d'adaptation permettent de fixer le niveau de difficulté pour chaque ressource du scénario pédagogique. La troisième et dernière étape consiste à mettre en relation les ressources du scénario pédagogique avec les ressources du jeu en se basant sur le modèle du jeu.

Dans les sections suivantes, nous détaillons le fonctionnement de ce processus.

Génération du scénario conceptuel

Dans un premier temps, l'expert du domaine alimente le système par des connaissances du domaine et des profils utilisateurs (dans certains domaines d'application, le profil est défini par l'utilisateur lui-même). Durant chaque session, l'utilisateur sélectionne les objectifs d'apprentissage qu'il souhaite atteindre. Il s'agit d'un certain nombre de concepts cibles parmi l'ensemble des concepts de la première couche. En fonction de ces objectifs et du profil de l'utilisateur, le générateur crée un scénario conceptuel. Ce dernier est composé d'un ensemble de concepts qui permettent de satisfaire les objectifs de la session. Cette sélection dépend des types de relation entre concepts.

<p>Entrées : - Profil de l'apprenant - Concepts-cibles = {<concept-cible₁, niveau-cible₁> ... <concept-cible_N, niveau-cible_N>}</p> <p>Sorties : - Scénario-conceptuel = {<concept-requis₁, niveau-requis₁> ... <concept-requis_M, niveau-requis_M>}, Scénario-conceptuel = null</p> <p>Pour chaque C_i ∈ Concepts-cibles faire Si C_i n'est pas maîtrisé par l'apprenant alors Pour chaque ensemble {C_j} en relation de type T avec C_i faire Résultat ← Stratégie-sélection_j(C_i, {C_j}) Scénario-conceptuel ← Scénario-conceptuel + Résultat FinPour FinSi FinPour Supprimer les redondances</p>

Algorithme 1 : Sélection des concepts

L'Algorithme 1 présente le principe de génération du scénario conceptuel. L'objectif de cet algorithme est de sélectionner les concepts du domaine, et leurs niveaux respectifs, qui satisfassent la liste des concepts cibles $Concept-cibles = \{<concept-cible_i, niveau-cible_i>\}$. Pour chaque concept cible $concept-cible_i$ de cette liste, l'algorithme compare le niveau cible ($niveau-cible_i$) avec le niveau de l'utilisateur pour ce même concept. Si le niveau de l'utilisateur est supérieur à celui du niveau requis, l'algorithme ignore $concept-cible_i$ puis traite le concept suivant $concept-cible_{i+1}$. Dans le cas contraire, l'algorithme détermine l'ensemble des concepts en relation avec $concept-cible_i$. La sélection de ces concepts est dépendante du *type de relation* qui les lie avec $concept-cible_i$. En effet, nous avons défini une stratégie de sélection pour chaque type de relation. Par exemple, si l'utilisateur choisit le concept cible

A et que ce dernier est en relation de type *prérequis* avec un autre concept B (*prérequis* (B, A)), alors le générateur va vérifier si l'utilisateur maîtrise suffisamment le concept B. Si ce n'est pas le cas, il va l'ajouter dans le scénario conceptuel.

Une fois que tous les concepts de la liste Concepts-cibles sont traités, un scénario conceptuel répondant aux profil et objectifs de l'apprenant est créé. Ce scénario est ensuite envoyé au générateur du scénario pédagogique.

Génération du scénario pédagogique

La génération du scénario pédagogique consiste à sélectionner pour chaque concept du scénario conceptuel une ou plusieurs ressources pédagogiques appropriées en tenant compte du modèle de présentation, des connaissances d'adaptation et du profil de l'utilisateur. Le module de présentation a pour vocation d'organiser les ressources pédagogiques en fonction de leurs types. Les connaissances d'adaptation, basées sur un système à base de règles, permettent de fixer le niveau de difficulté des ressources pédagogiques. Le profil de l'utilisateur contient les compétences de l'utilisateur pour les différents concepts du domaine ainsi que l'historique de ses interactions stockées dans une base de traces.

Entrées

- Profil-apprenant : il définit les compétences de l'utilisateur concernant les différents concepts du domaine.
- Modèle-présentation : il définit l'enchaînement des ressources pédagogiques en fonction de leur type.
- Scénario-conceptuel = $\{ \langle CR_1, NR_1 \rangle \dots \langle CR_M, NR_M \rangle \}$ où CR : concept-requis et NR : niveau requis.

Sortie :

-Scénario-pédagogique = $\langle \langle \langle CR_1, NR_1 \rangle, \text{ressource-pédagogique}_{11} \langle \text{params} \rangle \dots \text{ressource-pédagogique}_{1N} \langle \text{params} \rangle \rangle, \langle \langle CR_2, NR_2 \rangle, \text{ressource-pédagogique}_{21} \langle \text{params} \rangle \dots \text{ressource-pédagogique}_{2N} \langle \text{params} \rangle \rangle \dots \langle \langle CR_M, NR_M \rangle, \text{ressource-pédagogique}_{M1} \langle \text{params} \rangle \dots \text{ressource-pédagogique}_{MN} \langle \text{params} \rangle \rangle \rangle$

Scénario-pédagogique = null

Pour chaque $\langle CR_i, NR_i \rangle \in$ scénario-conceptuel **faire**

Pour chaque type de ressource T \in modèle-présentation **faire**

Liste-ressources = Chercher les ressources de type T en relation avec CR_i

Si (cardinalité de Liste-ressources > cardinalité des ressource dans T) **Alors**

$\{CR_j\}$ = Consulter les traces de l'utilisateur et sélectionner les ressources les moins utilisées

$\{NR_j\}$ = Fixer le niveau de difficulté de ces ressources

Scénario-pédagogique = Scénario-pédagogique + $\langle \langle CR_i, NR_i \rangle, \{ \langle CR_j, NR_j \rangle \} \rangle$

FinSi

FinPour

FinPour

Algorithme 2 : Sélection des ressources pédagogiques

L'Algorithme 2 décrit le fonctionnement du générateur de scénario pédagogique. Pour chaque concept c_i du scénario conceptuel, l'algorithme recherche les ressources pédagogiques avec lesquelles c_i est en relation et dont le type correspond au modèle de présentation. Si plusieurs ressources y existent, la ressource la moins utilisée par l'utilisateur est sélectionnée. Pour cela, l'algorithme consulte les traces d'interaction de l'utilisateur. Pour chaque ressource pédagogique sélectionnée, l'algorithme fixe les valeurs de ses paramètres à partir des connaissances d'adaptation. Ces dernières sont représentées sous forme de règles de la forme « *si* ($\{ \text{compétence-concept}_i \text{ OP valeur} \}_{i=1 \dots N}$) *alors* $\{ \langle \text{param} \rangle = \text{valeur} \}_{j=1 \dots M}$ » où *compétence-concept_i* est la compétence de l'apprenant concernant le *concept_i*, *OP* est un opérateur de comparaison (<, ≤, >, ≥, =, !=), *N* est la cardinalité de *Concepts-relation* de la ressource (correspond au nombre de concepts en relation avec la ressource pédagogique) et *M* est la cardinalité des paramètres de la ressource (correspond au nombre de paramètres de la ressource pédagogique).

Génération du scénario de jeu

La dernière étape du processus de génération est de produire un scénario de jeu à partir d'un scénario pédagogique. Il s'agit d'associer à chaque ressource pédagogique une ou plusieurs ressources du jeu en s'appuyant sur le modèle du serious game.

Le choix de la ressource de jeu peut prendre en compte les préférences de l'utilisateur et son historique.

Durant l'interaction entre l'utilisateur et le jeu, toutes les actions de l'utilisateur sur les objets du jeu et les ressources pédagogiques sont stockées dans des traces. Ces traces vont permettre au générateur de faire évoluer le profil de l'utilisateur en fonction de ses performances. Les mécanismes de mise à jour du profil et d'extraction de connaissances à partir de traces sont présentés dans le chapitre 3.

2.3.4 Plateforme GOALS

GOALS, acronyme de *Generator Of Adaptive Learning Scenarios*, est une plateforme en ligne permettant de générer des scénarios personnalisés. Pour cela, GOALS permet à l'expert d'introduire ses connaissances du domaine suivant les modèles que nous avons présentés ci-avant. Les connaissances dans GOALS sont organisées sous forme de projet. Un projet, relatif à un domaine d'apprentissage donné, comporte les connaissances du domaine (modélisées en trois couches : concepts, ressources pédagogiques, ressources du jeu), un ensemble d'apprenants caractérisés par des profils, un modèle de présentation et des connaissances d'adaptation.

GOALS considère trois types d'utilisateurs, à savoir : administrateur, expert et apprenant. L'administrateur est chargé de créer les comptes des différents utilisateurs (experts et apprenants), d'ajouter/supprimer des ressources sur le serveur et d'assurer le bon fonctionnement technique de la plate-forme. Le rôle de l'expert est de gérer (créer, modifier ou supprimer) des projets. Quant à l'apprenant, il peut introduire son profil, visualiser ses traces d'interaction et définir les objectifs pédagogiques pour chaque session.

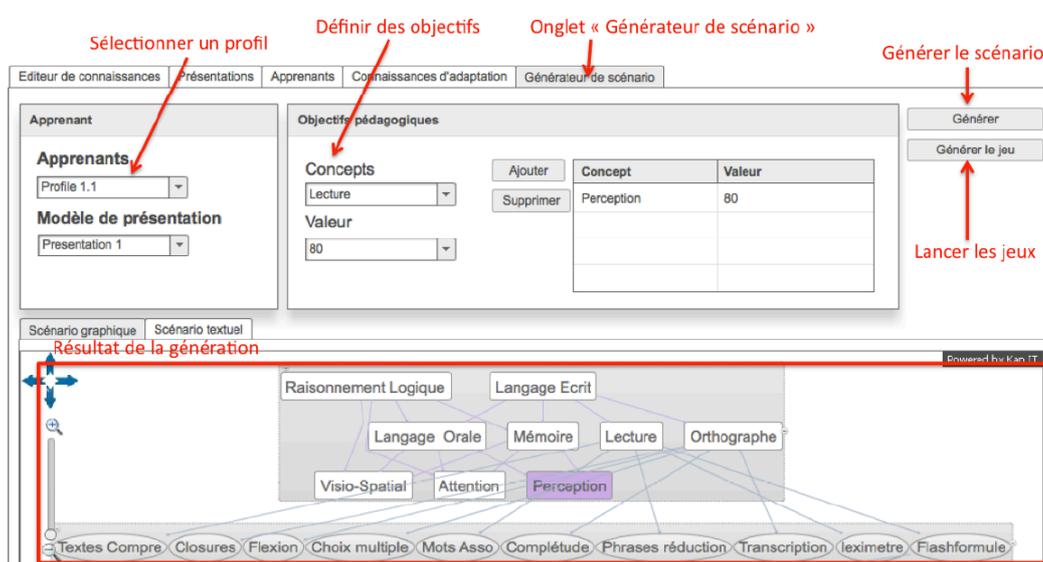


Figure 4 : Interface de la plate-forme GOALS : résultat de génération de scénarios

La Figure 4 montre l'interface d'un projet représentant une partie des connaissances du projet CLES. L'onglet « Editeur de connaissances » permet à l'expert de créer/modifier les connaissances du domaine. Pour cela, cette interface propose des composants de création de nœuds (concepts, ressources pédagogiques ou ressources du jeu) et de liens (relations entre concepts, entre concepts et ressources pédagogiques ou entre ressources pédagogiques et ressources du jeu). Il est également

possible d'éditer les propriétés des nœuds et des relations existantes en double cliquant sur le composant en question puis sur « Modifier ».

L'onglet « Générateur de scénario » permet à l'utilisateur de sélectionner les concepts cibles avec leurs niveaux de difficulté. À partir de ces concepts et du profil de l'utilisateur, GOALS génère un scénario de jeu.

2.3.5 Applications : handicap cognitif

L'évaluation et la rééducation des troubles cognitifs ont fait l'objet de plusieurs travaux de recherche. Ces travaux, généralement basés sur des tests cliniques, portent sur différentes fonctions cognitives telles que la mémoire de travail (Diamond & Goldman-Rakic, 1989), l'attention (Manly, Anderson, Nimmo-Smith, Turner, Watson, & Robertson, 2001), la perception auditive (Mody, Studdert-Kennedy, & Brady, 1997), le langage oral et écrit (Broomfield & Dodd, 2004), etc. Avec l'avènement de l'informatique, se sont développés des solutions numériques de remédiation cognitive et linguistique. Les auteurs dans (Botella, Baños, Villa, Perpiñá, & Garcia-Palacios, 2000) utilisent un système de réalité virtuelle pour le traitement des personnes atteintes de claustrophobie. LAGUNTXO (Conde, et al., 2009) est un système d'apprentissage à base de règles dont l'objectif est de faciliter l'intégration des personnes en situation de handicap cognitif dans les environnements de travail. Tutor Informatico (Campos, Granados, Jiménez, & Garrido, 2004) est un système destiné aux personnes souffrant du syndrome de Down. Ce système, basé sur les nouvelles technologies mobiles, permet d'aider ces personnes à surmonter leur handicap et à acquérir davantage d'autonomie. (Sehaba, Estrailier, & Lambert, 2005) propose un environnement ludo-éducatif pour l'aide à la structuration des enfants autistes. (Parfitt, Jo, & Nguyen, 1998) présente un environnement d'apprentissage à distance destiné aux personnes avec des besoins spécifiques.

Ces systèmes ont l'avantage d'être flexibles et facilement accessibles. Ils sont également capables d'enregistrer les traces des utilisateurs, ce qui permet aux praticiens de suivre les réalisations et l'évolution de leurs patients (Sehaba, 2005). Cependant, la plupart de ces systèmes ne s'adaptent pas aux spécificités et besoins de chaque utilisateur. Cette adaptation est particulièrement importante dans la mesure où les utilisateurs n'ont pas les mêmes compétences, capacités ou préférences. Afin de combler cette lacune, nous avons tenu à développer des jeux adaptatifs capables d'apprendre et de s'adapter à leurs contextes d'usage, en particulier à leurs utilisateurs.

Dans cette section, nous présentons deux applications. La première porte sur un serious game adaptatif permettant l'évaluation et la rééducation cognitive. Ce jeu a été développé et testé dans le cadre du projet CLES avec plusieurs experts orthophonistes ainsi que des utilisateurs en situations de handicap. La deuxième application porte sur le décodage des situations sociales chez les adolescents Asperger. Ce jeu a été développé dans le cadre des projets collectifs de l'INSA Lyon.

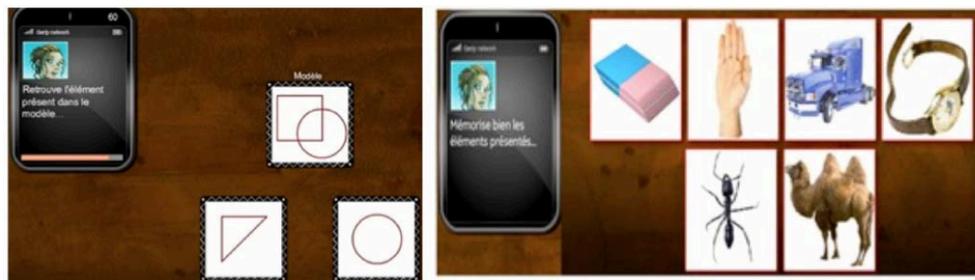
Évaluation et rééducation cognitives : Jeu Tom Oconor

L'objectif de notre travail dans le cadre du projet CLES était de développer un serious game adaptatif pour la rééducation de huit fonctions cognitives (Hussaan, Sehaba, & Mille, 2011) : perception, attention, mémoire, langage oral, langage écrit, raisonnement logique, visuo-spatial et compétences transversales. Ce jeu, accessible en ligne, est destiné aux enfants et aux adolescents. Le protagoniste de ce jeu est un personnage nommé *Tom* dont la tâche est de chercher une statuette sacrée dissimulée dans un manoir. En fonction des sessions, ce personnage est placé successivement dans plusieurs pièces du manoir. Comme le montre la Figure 5, chaque pièce contient plusieurs objets (chaise, bureau, écran, etc.). Derrière certains de ces objets se cachent des défis sous forme de mini-jeux. L'utilisateur doit interagir avec ces objets pour lancer ces mini-jeux. Pour accéder à d'autres pièces et avancer dans le jeu, l'utilisateur doit lancer tous les mini-jeux de la pièce.



Figure 5 : Interface du jeu Tom O'Connor

La Figure 6-A présente une interface du mini-jeu « Objets entremêlés à identifier ». L'objectif de ce mini-jeu est de développer et d'évaluer la perception visuelle des enfants entre 6 à 12 ans. Pour cela, ce mini-jeu affiche à l'écran un modèle contenant plusieurs objets entremêlés et un ensemble d'objets simples. L'apprenant doit identifier, parmi cet ensemble, les objets qui composent le modèle dans un laps de temps bien déterminé. Les paramètres de ce mini-jeu sont le nombre et le type d'objet (chiffres, lettres, formes géométriques, etc.), le nombre de propositions et le temps de réponse.



A : Objets entremêlés à identifier

B : Disparition grille

Figure 6 : Exemple de mini-jeux d'évaluation et de rééducation cognitives

La Figure 6-B montre l'interface d'un mini-jeu sur la mémoire appelé « Disparition grille ». Ce jeu affiche une série d'images que l'utilisateur doit mémoriser. Après un laps de temps, les images disparaissent, l'utilisateur est alors invité à les sélectionner parmi plusieurs propositions. Ce jeu dispose de plusieurs paramètres : le nombre d'images à mémoriser et leur complexité, la durée d'affichage de ces images, le nombre de propositions et le temps de réponse de l'utilisateur. Les paramètres des mini-jeux permettent de régler leurs niveaux de difficulté en fonction des capacités et des besoins de chaque utilisateur.

Dans le cadre du projet CLES, les fonctions cognitives sont représentées par des concepts du domaine, les mini-jeux sont représentés par des ressources pédagogiques, et les objets du jeu Tom O'Connor derrière lesquels se cachent les mini-jeux sont représentés par des ressources du jeu. Ainsi, pour chacune des huit fonctions cognitives, une douzaine de mini-jeux ont été développés, chaque mini-jeu possède neuf niveaux de difficulté. Le générateur de parcours a pour vocation de sélectionner, en se basant sur le profil de l'utilisateur, ses traces et les objectifs thérapeutiques de la session, les mini-jeux et leurs niveaux de difficulté, puis de les mettre en relations avec les objets des différentes pièces du manoir.

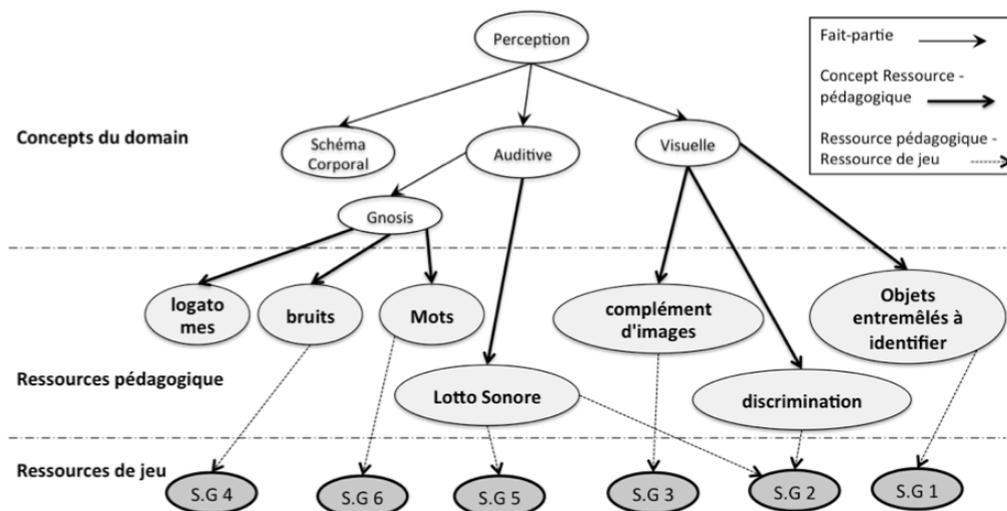


Figure 7 : Modélisation du concept « perception » : projet CLES

La Figure 7 montre une partie du concept perception. Ce dernier est en relation, de type fait-partie, avec ses trois sous-concepts (visuelle, auditive et schéma corporel). Chacun de ces sous-concepts est en relation avec une ou plusieurs ressources pédagogiques. Par exemple, la perception visuelle (représentée par le concept Visuel en relation avec le concept Perception) est en relation avec les ressources représentant les mini-jeux complément d'images, discrimination et objets entremêlés à identifier. Cette relation exprime le fait que ces mini-jeux permettent d'évaluer et de stimuler la perception visuelle.

Décodage des situations sociales chez les adolescents Asperger : Jeu Polaroid

Le syndrome d'Asperger est un trouble du spectre autistique qui se caractérise par une difficulté à traduire le langage social, à communiquer et à interagir avec les autres. Les personnes Asperger ont du mal à décoder l'esprit, les sentiments ou les intentions des autres, et à s'y ajuster (Frith, 1991). La gestuelle et le regard sont chez eux faiblement intégrés aux comportements de communication et d'interaction. Il leur est ainsi difficile de déduire, à partir des expressions faciales, de la gestuelle, du contact visuel, et de la position du corps, les sentiments et intentions de leur interlocuteur. Même si le langage et le développement cognitif sont relativement préservés par rapport à d'autres troubles du spectre autistique, ces troubles, particulièrement gênants à l'adolescence, conduisent la personne Asperger à un isolement et une perte de l'estime de soi, voire à des troubles anxieux et dépressifs. En France, le syndrome d'Asperger touche environ 400 000 personnes dont la plupart ne sont même pas diagnostiquées.

Plusieurs outils multimédia d'aide à l'apprentissage des personnes atteintes du syndrome d'Asperger ont été développés. Dans (Grynszpan, Martin, & Nadel, 2005), les auteurs présentent un logiciel proposant des exercices pour l'apprentissage du dialogue en utilisant différentes modalités : texte, image 2D-3D, voix synthétique, etc. JeStimule¹¹ est un jeu destiné à améliorer les compétences sociales des enfants et adolescents avec autisme ou de TED (Troubles Envahissants du Développement). Ce jeu permet d'aider les enfants à reconnaître les émotions exprimées sur des visages, par des gestes tout en tenant compte du contexte. Le jeu commence par une phase d'apprentissage, où l'utilisateur doit associer une couleur à une émotion donnée. Une fois cette introduction passée, le joueur choisit son avatar et peut commencer à naviguer dans le monde virtuel.

Ces outils ont l'avantage d'être flexibles, et pour certains, ludiques. Néanmoins, ils manquent généralement d'interaction et de réalisme. Ainsi, dans certains cas, il est difficile pour les personnes Asperger de transposer les compétences acquises à travers ces outils dans des situations réelles. Notre

¹¹ <http://www.jestimule.com>

objectif était de développer un serious game qui facilite l'immersion des adolescents Asperger dans le jeu à travers des situations réelles, et ainsi faciliter le transfert des compétences. Le jeu développé, appelé Polaroaïde, a été conçu et testé dans le cadre d'un projet en partenariat avec des experts et adolescents Asperger du Centre Hospitalier Saint Jean de Dieu.

Le principe du jeu Polaroaïde consiste à placer la personne Asperger dans une situation sociale dans laquelle elle peut décider d'un comportement et recevoir un feedback, sur les conséquences de son comportement, afin de lui permettre de repérer quels indices elle n'a pas pris en compte dans sa prise de décision. Ce jeu comporte de petites saynètes filmées avec plusieurs issues possibles. En fonction du choix fait par la personne, le moteur de jeu adapte le scénario en sélectionnant des saynètes mieux appropriées avec des conséquences plus intéressantes.

L'environnement du jeu est un lycée dans lequel l'apprenant peut se déplacer et vivre différentes situations de la vie quotidienne (cf. Figure 8). La principale tâche de l'apprenant dans le jeu est d'aider l'un(e) de ses ami(e)s à retrouver des photographies d'un album. Pour cela, il doit visiter 12 lieux du lycée pour récupérer toutes les photos et compléter l'album. Dans chaque lieu, l'apprenant peut visualiser une scène permettant de travailler une ou plusieurs compétences sociales, selon la complexité de la situation.



Figure 8 : Interface du jeu Polaroaïde

Une scène se compose de trois étapes qui s'enchaînent de manière logique. Chaque étape comporte un film qui décrit une situation, et une question suivie de quatre réponses possibles (cf. Figure 9) :

- Réponse sociale : c'est une réponse dite « idéale », permettant à l'apprenant de se sociabiliser. C'est la réponse que donnerait, dans la plupart des cas, une personne non atteinte du syndrome Asperger.
- Réponse maladroite : c'est une réponse qui montre une prise d'initiative intéressante, mais d'une manière non adaptée.
- Réponse échappatoire : c'est une réponse assez neutre, permettant à l'apprenant de ne pas se placer dans une situation embarrassante. La réponse ne permet pas non plus de se sociabiliser.
- Réponse excessive : c'est une réponse non adaptée à la situation. Elle peut être agressive et entraîne chez les interlocuteurs de la gêne, confusion, peine ou énervement.

Chaque réponse déclenche une vidéo conséquence qui lui est associée. À la fin de la scène, un feedback, sous forme d'une explication, est présenté à l'apprenant pour l'aider à mieux comprendre et décoder la situation. Ensuite, le jeu lui remet entre 1 (correspondant à la réponse excessive) à 4 photographies (correspondant à la réponse sociale) afin de compléter son album.



Figure 9 : Interface d'une scène du jeu Polaroid

Dans chaque lieu (ou scène), l'apprenant devra répondre à 3 questions qui détermineront au fur et à mesure son scénario d'avancement dans la situation, jusqu'à un état final. Ainsi, plusieurs enchaînements ou chemins sont possibles. Ceux-ci dépendent des actions de l'apprenant. La traversée d'un lieu est conditionnée par l'atteinte d'un des trois états finaux.

Dans ce jeu, les compétences sociales sont représentées par des concepts du domaine, les scènes sont représentées par des ressources pédagogiques, et les différentes pièces (lieux) du lycée sont représentées par des ressources du jeu.

2.3.6 Expérimentations et résultats

Afin de valider les modèles de notre générateur de scénarios dans les jeux d'apprentissage, nous avons conduit deux expérimentations dans le cadre du projet CLES. L'objectif de ces évaluations est, d'une part, de valider les modèles et le processus de génération de scénarios et, d'autre part, d'étudier l'impact des scénarios générés par GOALS sur les apprenants.

Validation du générateur

L'objectif de cette première évaluation est de déterminer si :

- le générateur de scénarios fonctionne correctement. Il s'agit de valider les stratégies de sélection que nous avons définies pour les différents types de relation.
- les connaissances que nous avons introduites dans le système sont correctes.

Notre protocole d'évaluation est basé sur une méthode comparative qui consiste à comparer, pour les mêmes profils et objectifs pédagogiques, les scénarios créés manuellement par l'expert avec les scénarios générés par GOALS. Cette évaluation a été menée avec un expert orthophoniste.

Ce protocole repose sur les étapes suivantes. Dans un premier temps, l'expert définit des profils types et fixe pour chacun de ces profils un certain nombre d'objectifs éducatifs. Ensuite, pour chacun de ces cas, l'expert crée manuellement un scénario (conceptuel et pédagogique). Ce dernier est ensuite comparé, par l'expert, avec le scénario généré par GOALS. Durant cette étape de comparaison, l'expert est filmé et est invité à verbaliser ses pensées.

À l'issue de cette comparaison, deux cas se présentent : soit l'expert estime que les scénarios sont similaires, soit il les juge différents. Dans le premier cas, le protocole prévoit une évaluation avec des utilisateurs sur le terrain. L'intérêt de cette évaluation est de déterminer, à partir de l'analyse des traces d'interaction, si les scénarios générés par le système sont adaptés aux profils des utilisateurs. Dans le cas où l'expert juge les scénarios différents, on modifie les stratégies de sélection des concepts et/ou les connaissances du domaine, puis on réitère le protocole jusqu'à ce que les scénarios soient similaires.

Avec l'aide de l'expert, nous avons défini les connaissances du projet CLES. Pour la couche concepts du domaine, nous avons créé 40 concepts et 44 relations. Pour la couche ressources pédagogiques, 91 mini-jeux ont été développés. Ensuite, nous avons créé douze profils :

Age\profil	Sans déficience	Déficience de la perception	Déficience de la mémoire	Déficience du langage écrit
8 ans	Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4
12 ans	Profil 5	Profil 6	Profil 7	Profil 8
14 ans	Profil 9	Profil 10	Profil 11	Profil 12

Tableau 4 : Évaluation du générateur de scénarios : profils des participants

Pour chacun de ces profils, l'expert a défini les valeurs des différents concepts et a fixé certains objectifs thérapeutiques. Ensuite, nous avons introduit les connaissances et les profils dans GOALS, puis généré pour chaque cas (profil + objectif) un scénario. En parallèle, l'expert a créé manuellement pour chacun de ces cas un scénario. Par la suite, nous avons demandé à l'expert de comparer les deux types de scénarios (expert / système).

Le Tableau 5 montre deux exemples : le premier concerne un scénario destiné à un enfant âgé de 8 ans présentant une déficience de perception. Le deuxième scénarios concerne un enfant de 14 ans ayant des troubles de la mémoire. Dans le premier exemple, l'expert a constaté que les deux scénarios (GOALS et expert) sont similaires. En effet, soit les mini-jeux sélectionnés sont identiques (par exemple, Bruit et Logatome), soit ils portent sur la même fonction cognitive (par exemple, Objets entremêlés, Compléments d'images et Discrimination qui concernent la perception visuelle). En outre, les niveaux de difficulté des mini-jeux, GOALS et expert, sont identiques.

Exemple 1		Exemple 2	
Profil 1 <ul style="list-style-type: none"> • Age de l'enfant : 8 ans • Déficience de perception • Objectif d'apprentissage : Perception 		Profil 2 <ul style="list-style-type: none"> • Age de l'enfant : 14 ans • Déficience de mémoire • Objectif d'apprentissage : mémoire 	
GOALS	Expert	GOALS	Expert
Mini-jeu (niveau)	Mini-jeu (niveau)	Mini-jeu (niveau)	Mini-jeu (niveau)
Objets entremêlés (4)	Complément d'images (4)	Identification Grille (7)	Reproduction grille (5)
Complément d'images (4)	Discrimination (4)	Disparition (7)	Identification (5)
Bruit (6)	Bruit (6)	Mémoire verbale Support Visuel (8)	Mémoire verbale - Visuel auditive (5)
Logatome (6)	Logatome (6)	Empan Reproduction - A l'endroit (8)	Mémoire verbale - Support visuel (5)

Tableau 5 : Évaluation du générateur de scénarios : exemples de comparaison de scénarios

Dans le deuxième exemple, les mini-jeux des deux scénarios sont similaires, néanmoins leurs niveaux de difficulté sont différents.

Durant toute l'expérimentation, l'expert a été filmé afin d'analyser ses réalisations a posteriori. Ainsi, nous avons analysé environ 2 heures de vidéo en utilisant le logiciel d'annotation Advène¹² (cf. Figure 10). Cette analyse nous a permis de détecter quelques erreurs concernant les connaissances et le générateur. Nous avons ainsi ajouté un nouveau concept, 5 relations entre concepts et un nouveau type de relation. Concernant le fonctionnement du générateur, et comme le montrait l'exemple 2 du Tableau 5, les niveaux de difficulté de certains mini-jeux issus du générateur GOALS ne correspondaient pas aux niveaux des mini-jeux fixés par l'expert.

¹² liris.cnrs.fr/advene/

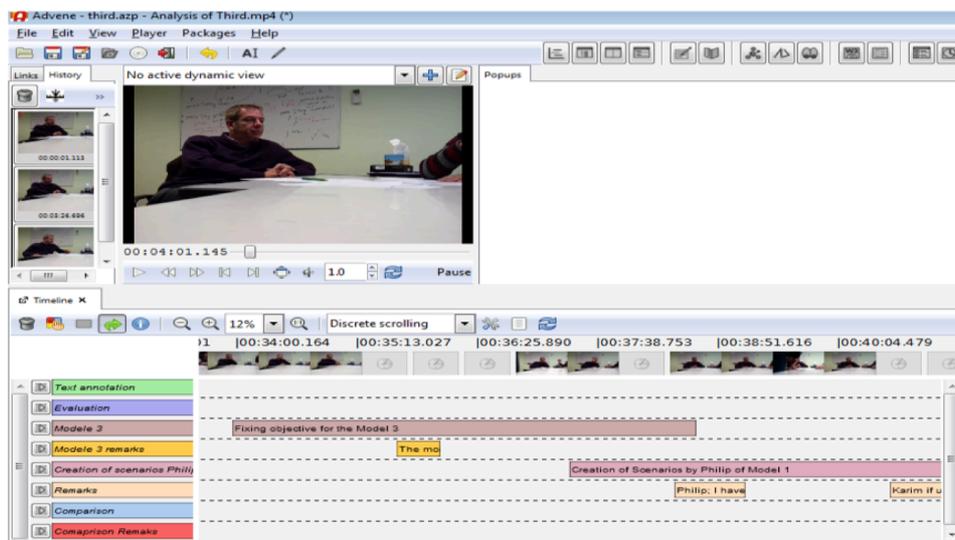


Figure 10 : Évaluation du générateur de scénarios : analyse de vidéo (interface advene)

L'origine de cette erreur venait du fait que l'algorithme adopté par le générateur ne prenait en compte que le profil de l'utilisateur, pour fixer les niveaux de difficulté des ressources pédagogiques, alors que l'expert prend en compte l'écart entre le profil et les objectifs de la session. Cette erreur a été corrigée.

Impact des scénarios sur les apprenants

Afin d'étudier l'impact des scénarios GOALS sur les apprenants, nous avons défini un protocole d'évaluation basé sur deux groupes d'apprenants (A et B) et quatre étapes : pré-test, test, post-test et analyse de résultats.

Durant la première étape, un même questionnaire est soumis à tous les apprenants (groupes A et B). Ce pré-test permet de connaître le niveau des apprenants. Durant la deuxième étape, les apprenants du groupe A utilisent des scénarios générés par GOALS et les apprenants du groupe B utilisent des activités d'apprentissage classiques. La troisième étape consiste à soumettre un deuxième questionnaire à tous les apprenants (groupes A et B). La quatrième étape consiste à comparer les résultats des questionnaires 1 et 2 afin d'étudier la progression des apprenants des deux groupes. Naturellement, les deux questionnaires, des étapes une et trois, et le contenu des activités d'apprentissage de l'étape deux doivent être cohérents avec le domaine d'apprentissage (stimulation cognitive dans notre contexte). Durant toute l'expérimentation, les apprenants ont été filmés afin d'analyser leurs réalisations a posteriori.

L'expérimentation a été effectuée avec huit participants, en situations de handicap, membres de l'association Handica Réussir (<http://www.handicareussir.com>). Avec l'aide des responsables de cette association, nous avons organisé les participants en deux groupes relativement équivalents en terme de compétences et capacités. Le Tableau 6 montre un aperçu des profils de ces participants.

Participants	Age	Sexe	Situation de handicap	Groupe
Participant 1	30	M	Dysphasie	Groupe A
Participant 2	26	M	Epilepsie	
Participant 3	21	F	Syndrome Asperger	
Participant 4	21	M	Physique	
Participant 5	21	F	Multi-dys	Groupe B
Participant 6	16	M	Troubles attentionnels	
Participant 7	17	M	Syndrome Asperger	
Participant 8	18	M	Dyspraxie	

Tableau 6 : Évaluation de l'impact des scénarios GOALS : profils des participants

Cette expérimentation a été focalisée sur trois fonctions cognitives : perception, mémoire et raisonnement logique. Pour chacune de ces fonctions, nous avons préparé les questionnaires des trois étapes : pré-test, test et post-test. Nous avons également introduit dans GOALS les connaissances du projet CLES et les profils des apprenants avec l'aide d'un expert.



Figure 11 : Évaluation de l'impact des scénarios : déroulement de l'expérimentation

Durant l'étape de pré-test, les apprenants des deux groupes ont répondu au même questionnaire. Durant l'étape de test, les participants du groupe A ont utilisé les scénarios générés par GOALS et les participants du groupe B ont utilisé des activités d'apprentissage papier-crayons. Dans ce dernier cas, les mêmes scénarios ont été fournis aux participants du groupe B. Les exercices papier-crayons sont de même niveau que les mini-jeux et portent sur les mêmes fonctions cognitives. La seule différence est qu'elles ne sont pas paramétrables/adaptables.

Durant l'étape de post-test, les participants des deux groupes ont répondu aux mêmes questionnaires.

Groupe	Participants	Pre-test	Moyenne	Ecart-type	Post-Test	Moyenne	Ecart-type
A	P1	4	6,25	2,63	10	8,875	1,03
	P2	5			7,5		
	P3	6			9		
	P4	10			9		
B	P5	7	8	1,41	10	8,5	1,22
	P6	7			7,5		
	P7	8			7,5		
	P8	10			9		

Tableau 7 : Évaluation de l'impact des scénarios : résultats de l'évaluation

Le Tableau 7 montre les résultats des questionnaires pré et post-tests sur la perception. Dans l'ensemble, ces résultats montrent que la progression du groupe A est plus importante que celle du groupe B. Néanmoins, il est prématuré d'affirmer que cet écart s'explique par les seuls jeux. Il faudrait plusieurs autres expérimentations, dans la durée, pour démontrer cela.

2.4 Adaptation des traces partagées

2.4.1 Problématique et positionnement scientifique

Les expériences partagées constituent une source de connaissances qui pourrait favoriser l'apprentissage à partir des pratiques et des solutions qui ont fonctionné dans des contextes

particuliers. En effet, les expériences sont des connaissances tacites qui relèvent de mises en situation pratiques. Il s'agit donc des pratiques qui livrent avec précision des faits réels qui peuvent, une fois partagées, renforcer le transfert de compétences, améliorer les performances collectives et faciliter l'extraction des connaissances à partir des situations vécues.

Dans ce cadre, nous nous sommes intéressés au partage de traces entre utilisateurs différents. Les traces représentent l'historique des interactions entre l'utilisateur et un environnement informatique. Nous utilisons le terme "*utilisateurs différents*" pour désigner des utilisateurs de profils différents, en particulier en ce qui concerne leurs capacités physiques et cognitives, leurs compétences du domaine et/ou leurs préférences. Le schéma de la Figure 12 montre le contexte général de notre recherche. Notre objectif est de proposer des modèles et des outils permettant au système de transformer les traces partagées par un utilisateur *source* u_1 pour qu'elles soient adaptées aux utilisateurs *cibles* u_2 et u_3 (avec u_1, u_2 et u_3 trois utilisateurs différents) quels que soient leurs profils et besoins spécifiques.

Les grands domaines sur lesquels pourraient porter ces adaptations sont : le contenu, la présentation et les modalités d'interaction (Sehaba, 2011). L'adaptation du contenu consiste à ajouter, supprimer ou à modifier les éléments de la trace. L'adaptation de présentation concerne l'affichage des traces et de ses propriétés. Il s'agit de choisir le style de visualisation le plus approprié en fonction des propriétés de la trace (Clauzel, Sehaba, & Prié, 2009 ; Clauzel et al., 2010) et/ou du profil de l'utilisateur. L'adaptation des modalités d'interaction porte sur la façon de faire pour réaliser les tâches (cf. section 2.2.3). Nous nous sommes focalisés sur l'adaptation des modalités d'interaction. En effet, plusieurs modalités peuvent être utilisées pour réaliser une tâche donnée. Par exemple, pour afficher le contenu d'un dossier, l'utilisateur peut utiliser une ligne de commande *ls* sous linux ou *dir* sous ms-dos, double cliquer sur le dossier ou utiliser le menu Fichier → Ouvrir. Ainsi, l'adaptation ici consiste à proposer à l'utilisateur la modalité la plus appropriée à son contexte d'usage.

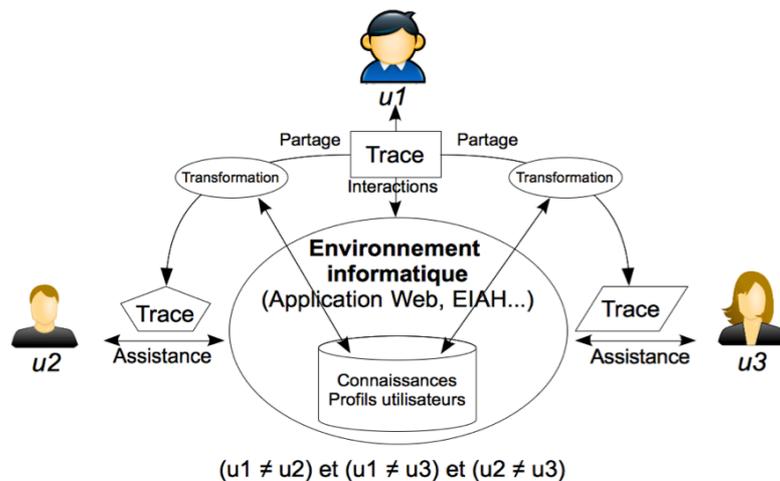


Figure 12 : Partage d'expériences entre utilisateurs de profils différents

Dans le contexte des EIAH, plusieurs systèmes de partage d'expériences ont été développés. Le principe de ces systèmes est d'exploiter les expériences passées afin d'identifier celles qui sont similaires au problème de l'apprenant cible afin de lui apporter une assistance dans la réalisation de sa tâche. (Bouzeghoub, 2010) propose un système de recommandation, dédié aux environnements d'apprentissage, basé sur le partage de traces. Ce partage est fait de manière automatique en fonction du degré de confiance entre les utilisateurs source et cible. Dans (Miura, Kunifuji, & Sakamoto, 2007), les auteurs présentent un système de partage d'annotations, appelé AirTransNote, sur des séances d'apprentissage collaboratif. Pour cela, un stylo numérique collecte les notes des apprenants, écrites sur papier ou sur tablette, puis il les transmet en temps réel à l'ordinateur de l'enseignant. Ce dernier peut ensuite les visualiser, les commenter ou les enrichir devant les élèves de la classe.

Open GLM (Open Graphical Learning Modeler) (Derntl, Neumann, & Oberhuemer, 2011) est un outil permettant de favoriser la collaboration et le partage dans les communautés de pratique d'enseignants. Pour cela, Open GLM propose des outils de création, de partage et de réutilisation des modèles d'enseignement fondés sur des normes existantes en exploitant les standards et les technologies d'apprentissage sur Internet. (Konert, Gobel, Richter, & Bruder, 2011) propose un système nommé PEDALE. Ce système combine le diagnostic, l'apprentissage ainsi que les principes des réseaux sociaux pour l'évaluation et le partage des connaissances entre les apprenants. (Chin, 2009) propose un système qui facilite la narration et le partage des histoires pour les enfants hospitalisés atteints de maladies chroniques. Dans ce système, les enfants peuvent créer leurs propres récits et/ou les co-construire avec d'autres personnes puis les partager dans un environnement multi-utilisateurs.

Outre le domaine des EIAH, le partage d'expériences a fait également l'objet de plusieurs recherches dans d'autres contextes tels que les technologies mobiles et l'assistance aux personnes en situations de handicap. Dans le contexte d'échange d'informations touristiques (Tsai, Kelley, Drielsma, Faith Cranor, Hong, & Sadeh, 2009), le partage d'expériences permet aux touristes d'avoir une connaissance suffisante sur l'endroit qu'ils visitent pour bénéficier de meilleurs services, de choisir le meilleur hôtel, restaurant, etc. Dans (Hyoungnyoun & Ji-Hyung, 2010), les auteurs proposent un système d'assistance multimodale dédié à l'optimisation du parcours et des visites touristiques en s'appuyant sur les expériences et les *feedbacks* des utilisateurs. Le partage d'expérience est également utilisé comme moyen pour aider les personnes aveugles dans leurs tâches de navigation sur Internet (Bigham, Lau, & Nichols, 2009). L'idée est d'utiliser l'expérience de navigation d'une personne sans déficience pour aider les personnes non voyantes à réaliser leurs tâches.

Ces travaux témoignent de la diversité des domaines d'application potentiels, mais le partage d'expériences dans ces travaux est limité à un simple échange d'informations et ne prend pas en compte les spécificités de l'utilisateur cible. En effet, ce dernier peut ne pas avoir les compétences et/ou aptitudes physiques et cognitives qui lui permettent de percevoir, de comprendre ou d'effectuer les actions recommandées par l'expérience partagée.

Afin de combler cette lacune, nous proposons de transformer les expériences partagées, représentées sous forme de traces modélisées, afin de les adapter à l'utilisateur cible. De nombreux facteurs favorisent cette forme d'adaptation tels que la personnalisation du mécanisme d'interaction, la prise en compte des personnes en situations de handicap, la flexibilité et l'adaptabilité du contexte d'usage, etc. Pour cela, nous avons proposé des modèles de représentation de profils utilisateurs, de traces et de connaissances d'adaptation ainsi que des modèles de génération et d'extraction de connaissances. Dans cette partie, nous nous concentrons sur l'adaptation des traces partagées.

2.4.2 Architecture et formalisation

Comme le montre la figure 13, l'architecture du système que nous proposons est composée de quatre modules : une base de traces, des connaissances d'adaptation, des profils utilisateurs et un moteur d'adaptation. Le rôle de ce dernier est de transformer la trace partagée afin d'adapter son contenu, sa présentation et ses modalités à l'utilisateur cible.

Initialement, l'utilisateur u_i interagit avec l'application informatique pour réaliser une tâche donnée. L'application enregistre ses actions, ainsi que les modalités d'interaction utilisées pour réaliser chaque action, dans une trace adoptant la formalisation présentée dans la section suivante. Cette trace est, dans un premier temps, stockée dans la base de traces pour que le système puisse en tenir compte dans le processus d'extraction de connaissances. Par la suite, elle est transformée, par le module d'adaptation, en tenant compte des profils des utilisateurs cibles et des connaissances d'adaptation. Il s'agit de choisir pour chaque élément observé (représentant une action de l'utilisateur) de la trace partagée, la ou les modalités qui correspondent au contexte d'usage. Le processus d'adaptation est détaillé dans la section 2.4.3.

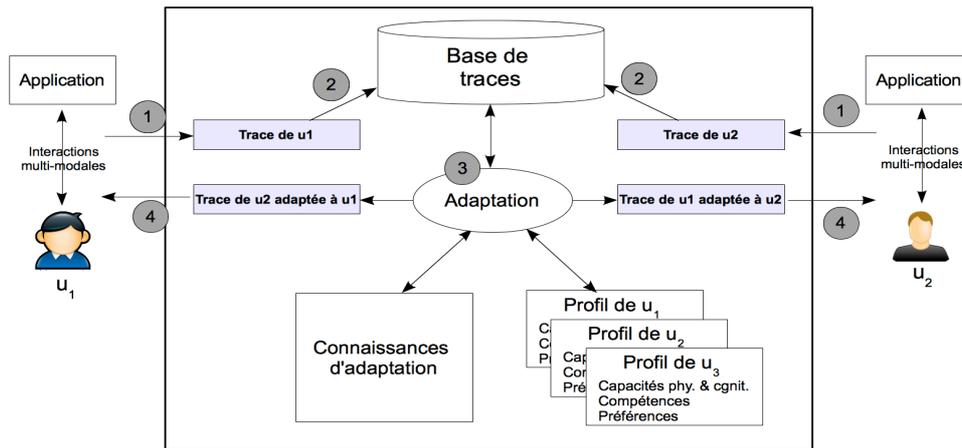


Figure 13 : Architecture générale du système de transformation de traces partagées

Le module d'adaptation est également chargé d'extraire des connaissances d'adaptation à partir des traces d'interaction. Pour cela, ce module analyse l'ensemble des traces stockées dans la base de traces afin de déterminer pour chaque type d'action, l'ensemble des modalités qui peuvent être utilisées pour sa réalisation, ainsi que l'ensemble des conditions (relatives au profil) qui doivent être respectées pour chacune de ces modalités. Le processus d'extraction de connaissances est détaillé dans (Sehaba, 2011) (Sehaba, 2012).

Dans cette section, nous présentons la formalisation que nous proposons pour représenter les traces, le profil utilisateur et les connaissances d'adaptation.

Représentation de trace

À partir de la définition générique de trace (cf. page 37), nous considérons une trace T est une *séquence* de toutes les actions de l'utilisateur, ainsi que les modalités utilisées, pour réaliser une tâche donnée. En effet, pour que l'utilisateur réalise une tâche, il agit par des actions sur un ou plusieurs dispositifs physiques à l'aide d'un langage d'interaction. Formellement,

$$T = \langle u, \text{t\^ache}, (o_1 \dots, o_i, \dots, o_n) \rangle$$

- u : l'utilisateur tracé ;
- tâche : une description de la tâche de l'utilisateur ;
- o_i : un élément observé de la trace. Chaque o_i est un couple (A_i, M_i) , où :
 - A_i est une action de l'utilisateur. Sachant que chaque action A_i possède un type, noté \bar{A}_i , qui définit sa structure par un ensemble d'attributs (a_1, \dots, a_m) ;
 - M_i est une modalité d'interaction composée d'un dispositif physique et d'un langage d'interaction.

Représentation du profil

Le profil utilisateur a un rôle important dans le processus d'adaptation. En effet, c'est en fonction des propriétés du profil que le module d'adaptation va transformer les traces partagées pour qu'elles soient conformes à l'utilisateur cible. Le profil intervient également dans le processus d'extraction de connaissances. Il permet de déterminer les conditions dans lesquelles une modalité donnée peut être appliquée.

Formellement, le profil utilisateur P est un ensemble de propriétés qui caractérisent l'utilisateur :

$$P = \{p_1=v_1, p_2=v_2, \dots, p_m=v_m\}$$

p_i : le nom de la propriété. Chaque propriété appartient à un des composants suivants : capacités physiques et cognitives, compétences du domaine ou préférences.

v_i : la valeur de la propriété, avec $v_i \in [0,1]$. La valeur 0 indique l'absence de la propriété et 1 indique la valeur maximale de la propriété. Par exemple, la capacité de vue d'un utilisateur non-voyant est $p_{vue} = 0$, et la capacité de vue d'un utilisateur sans déficience visuelle est $p_{vue}=1$. Le profil utilisateur peut être défini par l'utilisateur lui-même en remplissant les valeurs des différentes propriétés, ou généré automatiquement à partir de l'analyse de ses traces d'interaction.

Connaissance d'adaptation

Une connaissance d'adaptation permet au système de choisir, pour chaque action de la trace, la bonne modalité en fonction des propriétés du profil de l'utilisateur cible. Le principe est d'associer à chaque type d'action \bar{A}_i une ou plusieurs facettes où chaque facette est définie par un *mode* et une *modalité*. Le mode définit les conditions dans lesquelles la modalité peut être réalisée. Ces conditions portent sur le profil de l'utilisateur. La modalité définit le dispositif physique et le langage d'interaction permettant de réaliser l'action.

Formellement, une connaissance d'adaptation d'un type d'action \bar{A}_i , est définie comme suit :

$$\bar{A}_i \{$$

Facette₁ :
 Mode₁ : $\langle (m_1^1 \in I_1^1, w_1^1), \dots, (m_{k_1}^1 \in I_{k_1}^1, w_{k_1}^1) \rangle$
 Modalite₁ : $\langle \text{media}_1, \text{langage d'interaction}_1 \rangle$

Facette₂ :
 Mode₂ : $\langle (m_1^2 \in I_1^2, w_1^2), \dots, (m_{k_1}^2 \in I_{k_1}^2, w_{k_1}^2) \rangle$
 Modalite₂ : $\langle \text{media}_2, \text{langage d'interaction}_2 \rangle$
 ...

$$\}$$

Pour chaque facette j :

- m_i^j : Propriété du profil / $m_i^j : \in P$.
- I_i^j : Intervalle de valeurs / $I_i^j \subseteq [0,1]$.
- w_i^j : Poids de la propriété w_i^j dans le mode de la facette j.

Le mode exprime des contraintes sur les propriétés du profil, où chaque contrainte indique l'intervalle auquel doit appartenir la valeur de la propriété ainsi que le poids de la propriété dans le mode. Généralement, le poids des propriétés liées aux capacités et aux compétences de utilisateur est plus important que le poids des propriétés liées aux préférences.

Par exemple, la connaissance d'adaptation de l'action afficher le contenu d'un dossier (\overline{ACD}_i) peut être :

$$\overline{ACD}_i \{$$

Facette₁ :
 mode₁ : $\langle \text{Compétences_Linux} \in [0.5, 1], 1 \rangle$
 Modalite₁ : $\langle \text{Clavier, ls -l Dossier} \rangle$

Facette₂ :
 Mode₂ : $\langle \text{Compétences_Msdos} \in [0.5,1], 1 \rangle$
 Modalite₂ : $\langle \text{Clavier, dir Dossier} \rangle$

Facette₃ :
 Mode₃ : $\langle \text{Competences_GUI} \in [0.3,1], 1 \rangle$
 Modalite₃ : $\langle \text{Souris, Double_clic_sur Dossier} \rangle$

$$\}$$

Après avoir présenté la représentation que nous avons adoptée pour les traces, le profil utilisateur et les connaissances d'adaptation, la section suivante est consacrée au processus d'adaptation.

2.4.3 Adaptation des traces

L'adaptation des traces est un processus de transformation qui permet de générer, à partir d'une trace partagée par un utilisateur source u_1 , une autre trace avec des modalités adaptées à l'utilisateur cible u_2 , avec u_1 différent de u_2 . Le principe de ce processus est d'associer à chaque action de la trace de u_1 la modalité qui maximise la similarité entre son mode et le profil de l'utilisateur u_2 . Le choix de la mesure de similarité est tout à fait crucial pour une bonne exécution du processus. Il s'agit en effet de trouver la meilleure adéquation entre le profil et la modalité à associer à chaque action. Nous rencontrons dans la littérature de nombreuses fonctions de similarité qui peuvent être utilisées (Bisson, 2000), par exemple :

$$\phi(mode, P) = \frac{\sum_{i=1}^N w_i * \varphi(p_i = v_i, m_i \in I_i)}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (1)$$

- p_i : propriété du profil de u_2 ;
- m_i : propriété du mode ;
- $I_i = [a, b] \subset [0,1]$: intervalle auquel doit appartenir la propriété m_i ;
- w_i : poids de la propriété m_i dans le mode ;
- N : cardinalité des propriétés du mode ;
- φ : similarité entre p_i et m_i . Par exemple :

$$\varphi(p_i = v_i, m_i \in I_i) = \begin{cases} \frac{v_i}{a} & \text{si } v_i \leq a \\ 1 & \text{si } v_i \in I_i \\ \frac{v_i - 1}{b - 1} & \text{si } v_i \geq b \end{cases}$$

La fonction φ est une somme pondérée et normalisée. Plus le mode est proche du profil plus φ est proche de 1, et plus le mode est loin du profil plus φ est proche de 0. L'Algorithme 3 résume le principe du processus d'adaptation.

```

Entrée : Trace  $u_1$ , Profil  $P$  de  $u_2$ , Connaissances d'adaptation ( $u_1$  : source,  $u_2$  : cible)
Sortie : Trace de  $u_1$  avec des modalités adaptées à  $u_2$ 
for (chaque observé  $o_i = (A_i, M_i)$  de la trace de  $u_1$ ) do
     $max = 0$ 
    for (chaque facette  $j$  de la connaissance de  $\bar{A}_i$ ) do
        if ( $\phi(mode_j, P) > max$ ) then
             $max = \phi(mode_j, P)$ 
             $M'_i = modalite_j$ 
        end
    end
    Associer la modalité  $M'_i$  à l'action  $A_i$ 
end

```

Algorithme 3 : Transformation de trace partagée

Le but du processus d'adaptation ici n'est pas d'exécuter automatiquement les traces transformées mais de permettre à l'utilisateur cible de savoir comment il doit procéder pour réaliser ses tâches. Pour l'exécution des traces, en plus du profil, d'autres critères doivent être pris en compte tels que :

les dispositifs physiques disponibles, la cohérence entre le langage d'interaction sélectionné et les logiciels disponibles dans l'environnement informatique de l'utilisateur cible, etc.

2.4.4 Applications : apprentissage en ligne et handicap

Les différents modèles présentés ci-avant ont été développés dans le cadre d'une application J2EE. Dans cette application, les profils des utilisateurs et les connaissances d'adaptation sont stockés dans des fichiers XML. Le KTBS¹³ (kernel for Trace Base System) est utilisé pour collecter et enregistrer les traces d'interaction. Les données du KTBS sont codées dans des graphes RDF (<http://www.w3.org/RDF/>).

L'interface Web de cette application est basée sur les technologies JavaScript et CSS. Cette interface permet à l'expert du domaine d'introduire les connaissances d'adaptation (cf. Figure 14) et de visualiser les traces afin de les analyser et extraire de nouvelles connaissances d'adaptation. Également, l'interface permet à chaque utilisateur d'introduire son profil, de partager ses traces avec d'autres utilisateurs, de recevoir des traces d'autres utilisateurs et, si nécessaire, de transformer ces traces afin de les adapter à son contexte d'usage.

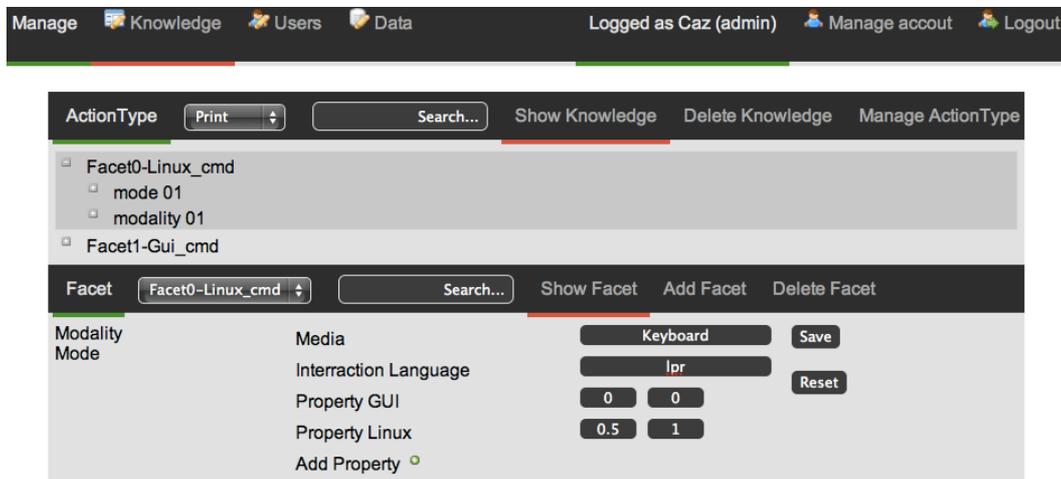


Figure 14 : Interface de configuration des connaissances d'adaptation

Dans section suivante, nous présentons deux applications appliquant notre approche. La première porte sur le partage d'expériences dans un environnement d'apprentissage en ligne, la deuxième concerne le partage d'expérience de navigation sur internet entre utilisateur avec et sans déficience visuelle.

Partage d'expériences dans un environnement d'apprentissage en ligne

La première application concerne le partage d'expériences entre apprenants dans le cadre de la formation en ligne VCIel¹⁴. VCIel comme « Visualisation et Conception Infographiques en Ligne » est un Master 2 entièrement en ligne et à distance. Ce Master vise à former des professionnels dans les domaines de la production multimédia et les technologies de l'internet, l'infographie 2D-3D, et la conduite de projet. Chaque année, cette formation accueille à distance une vingtaine d'étudiants, en formation initiale ou en formation continue, provenant de différents pays. Cette diversité de provenance, tant géographique qu'institutionnelle, nécessite des mécanismes de transformation de traces partagées afin de les adapter aux spécificités de chaque apprenant (contexte, compétences, préférences, capacités, etc.). L'adaptation des traces dans ce cadre concerne l'assistance à l'utilisation

¹³ <http://kernel-for-trace-based-systems.readthedocs.org/en/latest/index.html>

¹⁴ <http://vcieel.univ-lyon2.fr>

de la plate-forme de cours SPIRAL¹⁵ (Renaut, Batier, Flory, & Heyde, 2006) et à l'utilisation de certains logiciels.

La Figure 16 montre un exemple d'une trace partagée et le résultat de sa transformation. Ces traces sont stockées dans le KTBS. Les traces de cet exemple représentent l'activité de l'utilisateur pour le déplacement et la compilation d'un fichier Latex, ainsi que l'impression du fichier pdf. Les actions de la trace partagée sont sous forme de lignes de commandes, alors que celles de la trace transformée sont sous forme de commandes via l'interface graphique.

Pour chaque élément observé de la trace partagée, le système a associé la modalité qui maximise la similarité entre son mode et le profil de l'utilisateur cible. Comme le montre la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, pour l'élément observé *déplacer_fichier* (*move_file*), le système a calculé les similarités entre le profil de l'utilisateur cible (Alice) et les différents modes de l'action *déplacer_fichier*. Ensuite, le système a sélectionné la modalité *interface graphique*, car elle est la plus similaire du profil Alice.

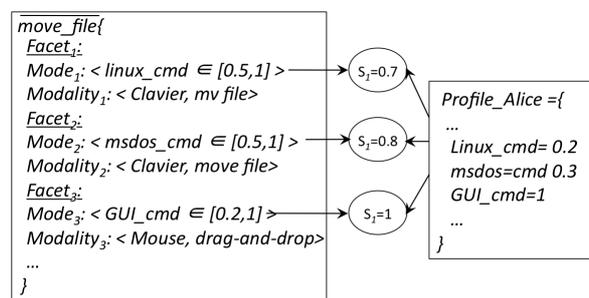


Figure 15 : Exemple de similarité entre un profil utilisateur et une connaissance d'adaptation

¹⁵ <http://spiralconnect.univ-lyon1.fr>

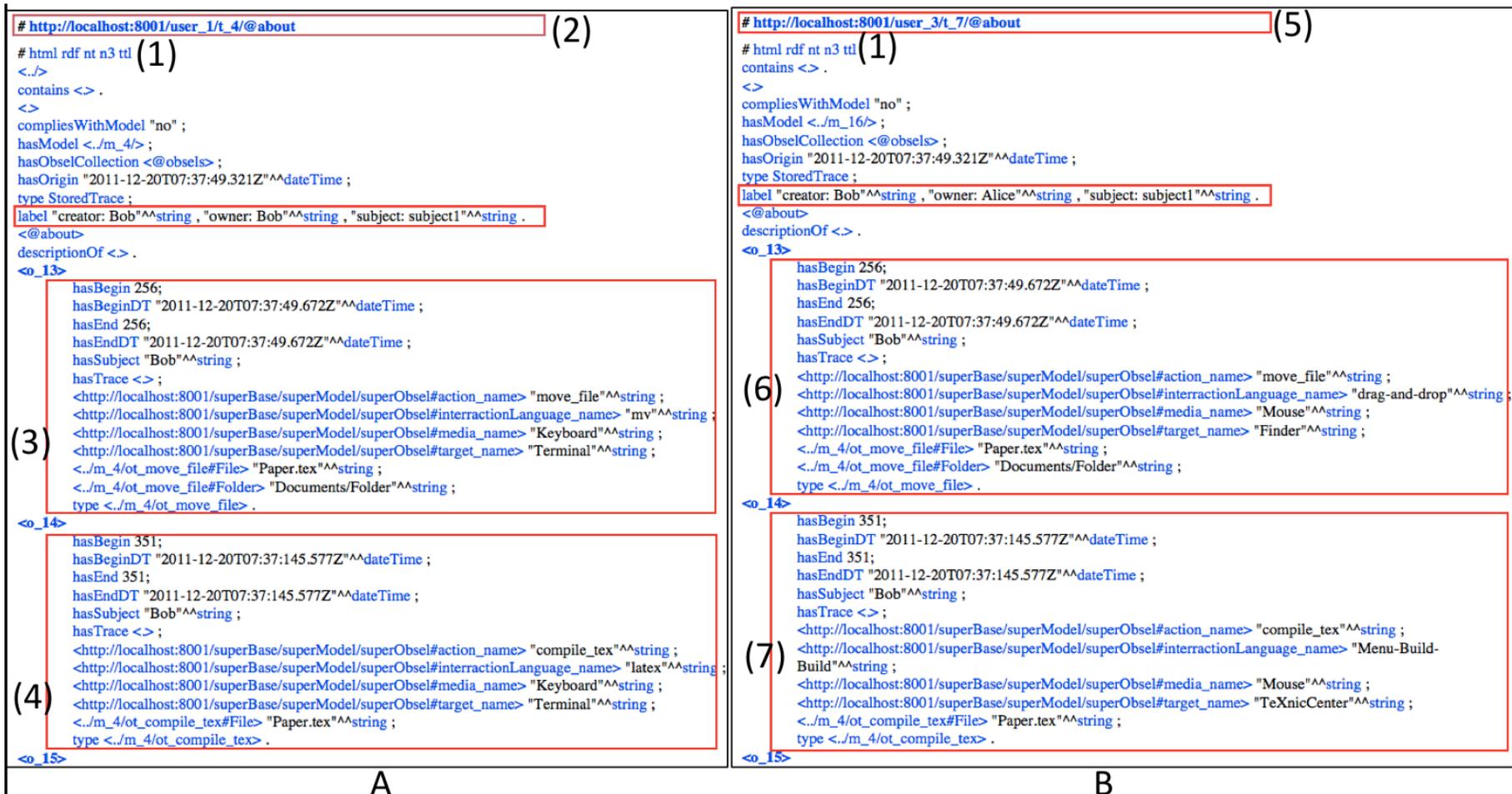


Figure 16 : Exemple de transformation de trace partagée dans un EIAH en ligne

Partage d'expériences entre utilisateurs avec et sans handicap

Nous nous sommes également intéressés au partage d'expériences entre utilisateurs avec et sans déficience visuelle. En effet, l'approche de transformation de traces partagées peut également être appliquée à l'assistance aux personnes non-voyantes pour la navigation Web. Il s'agit de comparer les propriétés des différentes modalités avec les capacités visuelles de l'utilisateur cible afin de choisir celle qui convient à ce dernier.

La navigation sur Internet des utilisateurs non-voyants se fait à travers des logiciels de lecture d'écran ou de transcription Braille. Ces logiciels sont destinés aux personnes non-voyantes, ou fortement malvoyantes, afin de retranscrire les informations affichées sur l'écran par une synthèse vocale ou sur un afficheur Braille. L'inconvénient de ces logiciels réside dans le fait qu'ils adoptent une présentation linéaire de l'information, ce qui pose des problèmes d'accessibilité d'ordre (Archambault, 2010) : temporel, structurel, graphiques, etc. Ainsi, pour accomplir une tâche donnée, l'utilisateur devrait parfois lire l'intégralité du flux pour atteindre l'information recherchée, c'est pourquoi la navigation Internet pour ces personnes peut être très frustrante.

Nous pensons que le partage d'expériences, ou la collaboration transmodale selon (Archambault, 2010), peut apporter des avantages en permettant aux utilisateurs non-voyants d'utiliser des traces partagées afin d'accéder à l'information pertinente dans un court laps de temps. Le principe est d'utiliser la trace d'un utilisateur voyant pour aider un utilisateur non voyant à effectuer rapidement et efficacement sa tâche tout en évitant toutes les recherches linéaires.

Pour illustrer nos propos, nous présentons un exemple de trace représentant l'ensemble des actions relatives à la tâche « réaliser l'achat d'un livre sur un site de vente en ligne ». Les éléments observés de cette trace correspondent aux actions suivantes : aller sur le site www.amazon.com, sélectionner "Livres" de la liste déroulante "Recherche", etc.

La Figure 17 montre le résultat de transformation de cette trace pour un utilisateur non-voyant ($P_{vue} = 0$). Cette trace peut être présentée à ce dernier en utilisant des outils d'interprétation dédiés tels que TrailBlazer (Bigham, Lau, & Nichols, 2009) ou Koala (Little, Lau, Cypher, Lin, Haber, & Kandogan, 2007). Ces dernières sont des logiciels qui permettent de guider les personnes non-voyantes à naviguer sur Internet à travers des savoirs-faire (how-to knowledge) existants. Un savoir faire (how-to knowledge), codé sous forme de *script*, est une liste d'étape permettant de réaliser une tâche donnée. Chaque étape du script décrit les éléments avec lesquels on doit interagir (bouton, zone de texte, etc.) ainsi que les types d'opération qui doivent être effectués sur ceux-ci. Les scripts peuvent être créés et partagés par des utilisateurs à travers un langage dédié.

```
# http://localhost:8001/user_11/t_8/@about
```

```
# html rdf nt n3 ttl
<./>
contains <> .
<>
compliesWithModel "no" ;
hasModel <./m_31/> ;
hasObselCollection <@obsels> ;
hasOrigin "2012-12-19T014:27:42.321Z"^^dateTime ;
type StoredTrace ;
label "creator: Alice"^^string , "owner: Alice"^^string , "subject: subject1"^^string .
<@about>
descriptionOf <> .
<@_1>
```

```
hasBegin 245;
hasBeginDT "2012-12-19T014:27:42.672Z"^^dateTime ;
hasEnd 245;
hasEndDT "2012-12-19T014:27:42.672Z"^^dateTime ;
hasSubject "Alice"^^string ;
hasTrace <> ;
<http://localhost:8001/superBase/superModel/superObsel#action_name> "go_to_website"^^string ;
<http://localhost:8001/superBase/superModel/superObsel#interactionLanguage_name> "enter_webaddress"^^string ;
<http://localhost:8001/superBase/superModel/superObsel#media_name> "Keyboard"^^string ;
<http://localhost:8001/superBase/superModel/superObsel#target_name> "web_page"^^string ;
<./m_4/ot_purchasingbook#webaddress> "www.amazon.com"^^string ;
```

```
<@_2>
```

```
hasBegin 359;
hasBeginDT "2012-12-20T14:29:145.577Z"^^dateTime ;
hasEnd 351;
hasEndDT "2012-12-20T07:39:145.577Z"^^dateTime ;
hasSubject "Bob"^^string ;
hasTrace <> ;
<http://localhost:8001/superBase/superModel/superObsel#action_name> "select_from_choice_list"^^string ;
<http://localhost:8001/superBase/superModel/superObsel#interactionLanguage_name> "click_on"^^string ;
<http://localhost:8001/superBase/superModel/superObsel#media_name> "mouse"^^string ;
<http://localhost:8001/superBase/superModel/superObsel#target_name> "choice_list_id2"^^string ;
<./m_4/ot_purchasingbook#List_of_items> "Search"^^string ;
<./m_4/ot_purchasingbook#Selected_item> "Books"^^string ;
```

TrailBlazer Example

1)  Step 1 of 15: go to "www.amazon.com"

1 of 15: go to www.amazon.com

2)  Step 2 of 15: select "Books" from the "Search" listbox

8)  Step 8 of 15: click the TABLE containing "List Price"

Figure 17 : Exemple de transformation de trace partagée entre utilisateurs avec et sans déficience visuelle

2.5 Perception et expression des émotions pour les personnages non joueurs dans les jeux

2.5.1 Problématique et positionnement scientifique

Avec l'avancée des techniques de synthèse d'images, le rendu graphique des personnages de jeux vidéo devient de plus en plus réaliste. Cependant, jusqu'à une époque récente, peu de travaux sont menés sur la représentation des informations émotionnelles et de personnalité dans la modélisation des personnages non joueurs (PNJ), malgré son importance dans l'interaction sociale (Keltner & Haidt, 2001). En effet, une des fonctions les plus immédiates en faveur de la prise en compte de ces facteurs est l'augmentation de la crédibilité et du réalisme dans l'interaction avec le PNJ et ainsi l'immersion et l'engagement du joueur.

Les travaux sur la modélisation des émotions relèvent essentiellement du domaine des agents conversationnels (Ball & Breese, 2001; Becker, Kopp, & Wachsmuth, 2007; Dautenhahn, 1998). Ces agents disposent d'un modèle émotionnel leur permettant de s'adapter à la situation d'interaction afin de faciliter les interactions et la communication sociales.

Parmi les serious games qui modélisent les émotions, on trouve le jeu « CHI System » développé par l'armée américaine (Deaton, et al., 2005; Lane & E. Ogan, 2009). Ce jeu vise à préparer les soldats pour des missions à l'étranger en se familiarisant avec les coutumes et les traditions locales à travers l'interaction avec des personnages non joueurs dans un environnement virtuel. Pour cela, les personnages expriment des émotions positives ou négatives en fonction du comportement du joueur dans le jeu. Le même principe est utilisé dans le jeu eCoology (Raquel, Jose, Jose, & Javier, 2006). Ce jeu, destiné aux enfants, vise l'apprentissage des règles de base de la vie quotidienne telles que le respect de l'environnement et des animaux, la promotion des énergies renouvelables, etc. Ainsi, sur la base des décisions de l'enfant dans le jeu, les personnages non joueurs expriment des positives ou négatives.

L'objectif global de notre travail dans le cadre du projet DEEP (Dialogue fondé sur les Emotions, l'Expérience et la Personnalité) est de définir un modèle de dialogue émotionnel pour les jeux vidéo à visée ludique ou sérieuse. Ce modèle prend en compte les *émotions*, la *personnalité* et *l'expérience* dans l'interaction entre agents artificiels et/ou entre agents artificiels et agent humain.

Par définition, les facteurs de personnalité sont stables et durables à travers le temps et les situations. Néanmoins, les avis divergent sur les critères de classification de la personnalité. Ainsi, plusieurs modèles de personnalité issus de la psychologie ont été proposés tels que (McCrae & John, 1992; Eysenck, 1967). Le modèle big-five, ou OCEAN, est le prédominant de la psychologie contemporaine. Ceci tient au fait qu'il a été confirmé à travers différentes méthodes et différents contextes. Ce modèle propose de décrire la personnalité de manière conceptuelle selon cinq facteurs :

- Ouverture (openness) : tendance à être curieux et imaginatif ;
- Conscienciosité (conscientiousness) : tendance à être discipliné et organisé ;
- Extraversion : tendance à extérioriser ses émotions et à chercher la stimulation ;
- Agréabilité (agreeableness) : tendance à chercher l'harmonie sociale et à être compatissant et coopératif ;
- Neuroticisme (neuroticism) : tendance à ressentir facilement les émotions négatives.

Eysenck (Eysenck, 1967), quant à lui, il considère deux facteurs : extraversion et neuroticisme.

À la différence des facteurs de personnalité, les émotions changent d'un instant à un autre en fonction des stimuli perçus par l'individu. Historiquement, les émotions ont d'abord été confondues avec le Darwinisme (1872) qui considère que les émotions, dites basiques, en réponse aux événements du

monde extérieur. Selon Darwin, la fonction première des émotions est l'adaptation à l'environnement. William James (1884) perçoit les émotions comme une réponse directe à la perception d'un événement et insiste sur le changement induit sur le comportement corporel de l'individu. En résumé, il stipule que c'est la conscience de nos troubles organiques qui constitue l'émotion (« je tremble donc j'ai peur » et non pas « j'ai peur donc je tremble »). Cette conception des émotions a été actualisée par Antonio Damasio (Damasio, 1994). Ainsi, sans la perception de ces changements, il est impossible de ressentir l'expérience des émotions. La théorie de l'évaluation cognitive (*cognitive appraisal theory*) stipule, comme son nom l'indique, que l'évaluation cognitive des événements et leurs impacts sur l'individu est à l'origine des émotions. Chaque émotion est donc associée à un processus d'évaluation établissant un lien entre le facteur situationnel, les caractéristiques de l'individu et la nature de l'émotion. Suite à cette évaluation, le mécanisme cognitif de l'individu opte pour une action conséquente et l'émotion émerge de cette prise de conscience.

L'approche socio-constructiviste intègre les normes socio-culturelles de référence dans le processus de perception et d'expression émotionnelles. Dans cette approche, l'émergence des émotions, et leurs comportements subséquents, est basée sur une interprétation des liens qui unissent la situation au système de valeurs et aux référents culturels.

Nos travaux se situent dans le cadre de la théorie de l'évaluation cognitive étant donné qu'elle est la plus précise et la plus utilisée en psychologie contemporaine. Dans ce cadre, plusieurs modèles ont été développés pour définir les critères d'évaluation permettant de différencier les émotions (Roseman, Spindel, & Jose, 1990; Ortony, Clore, & Collins, 1988; Scherer, 1987). Ces modèles permettent de spécifier les critères d'évaluation des stimuli qui provoquent les émotions. Dans (Roseman, Spindel, & Jose, 1990), les auteurs proposent un modèle d'évaluation cognitive qui génère dix-sept émotions en classant chaque événement en deux catégories: *motivant*, s'il est en conformité avec un des buts de l'individu ou *non motivant* dans le cas contraire. D'autres critères sont également utilisés: l'origine de l'événement (circonstance, soi-même, autre individu), la certitude de la production de l'événement (inconnue, incertain, certain), le bénéfice de l'événement pour l'individu ou non, la perception de soi par rapport à l'événement (fort, faible). Par exemple, l'espoir est un événement motivant et incertain, et la peur est un événement non motivant, incertain, avec un sentiment de faiblesse.

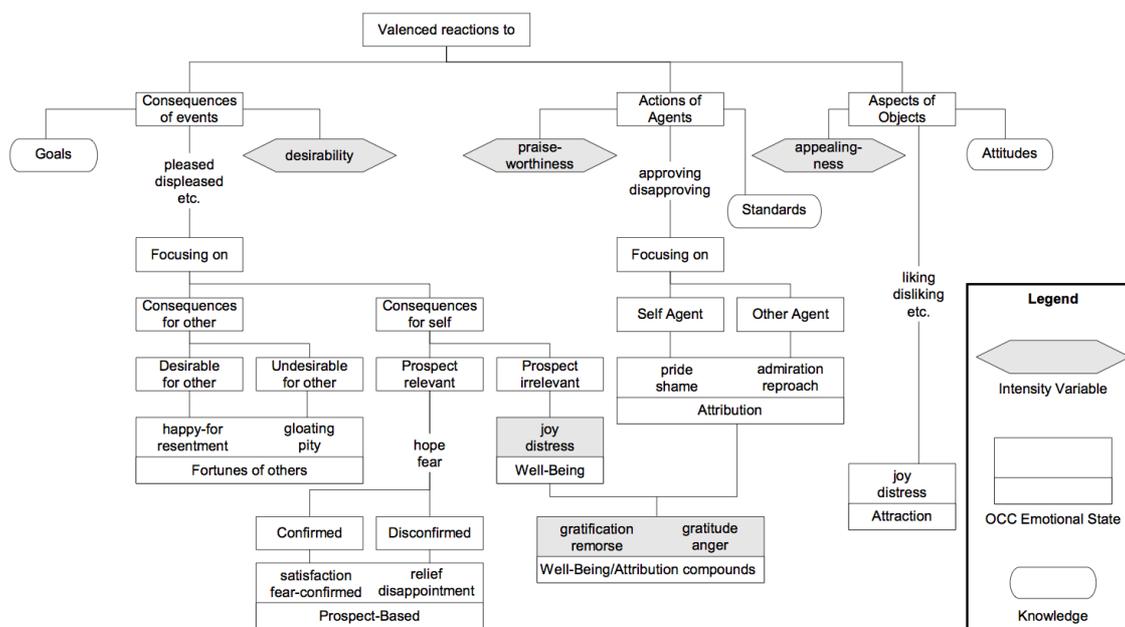


Figure 18 : Modèle émotionnel d'Ortony, Clore et Collins (Ortony1988)

Ortony, Clore et Collins (Ortony, Clore, & Collins, 1988) proposent un modèle émotionnel, appelé OCC, qui couvre un ensemble suffisamment vaste de situations émotionnelles. Ce modèle est très

vite devenu populaire et est imposé comme un standard pour la génération des émotions comme le montrent de nombreux travaux. Comme le montre la Figure 18, le modèle OCC distingue 22 types d'émotions déclenchées à partir de 3 types de stimuli : les conséquences d'événements, les actions de l'agent, et les aspects d'objets.

Les modèles issus de la théorie de l'évaluation cognitive, tels que le modèle de Reseman et al. ou OCC, mettent en évidence les caractéristiques déterminantes des événements dans le déclenchement des émotions. Néanmoins, ils ne fournissent pas un processus émotionnel complet comme le souligne (Seif El-Nasr, Yen, & Loerger, 2000), et surtout ne définissent pas comment la personnalité et ses facteurs influencent la sensibilité aux émotions. Également, les liens entre émotion et intensité, et les seuils d'activation des émotions, ne sont pas pris en compte malgré leur importance manifeste (Izard, Hembree, & Huebner, 1987; Tangney, 1990).

2.5.2 Formalisations

Nous proposons un modèle émotionnel qui prend en compte la personnalité et son impact sur la perception et l'expression émotionnelles. Le modèle, doté d'une mémoire émotionnelle, permet de calculer à tout instant l'intensité émotionnelle en fonction des stimuli que le PNJ perçoit et l'affaiblissement des émotions antérieures. Afin de donner plus de flexibilité au modèle, les dimensions des facteurs de personnalité et d'émotions ne sont pas définies a priori, mais dépendent du scénario que le concepteur souhaite mettre en œuvre.

Dans cette section, nous présentons dans un premier temps la modélisation de la personnalité et des émotions. Dans un second temps, nous présentons la fonction d'affaiblissement des émotions. Ensuite, nous présentons le processus de mise à jour des émotions.

Modélisation de la personnalité et des émotions

En se basant sur les modèles de personnalité en psychologie, nous supposons que la personnalité est définie par n facteurs à deux pôles opposés (positif et négatif). Chaque facteur est représenté par une valeur appartenant à l'intervalle $[-1,1]$, où 1 (respectivement -1) représente la valeur maximale du pôle positif (du pôle négatif respectivement) du facteur et 0 représente l'absence du facteur. De manière générale, nous représentons la personnalité p par un vecteur de dimension n :

$$p = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{bmatrix} \quad \forall i \in [1, n], p_i \in [-1, 1]$$

Si on prend l'exemple du modèle *Big-five* qui identifie cinq facteurs de personnalité (extraversion vs introversion, agreeableness vs disagreeableness, conscientiousness vs unconscientiousness, neuroticism vs emotional stability et openness to experience vs closed to experience), on peut représenter une personnalité d'un PNJ très extraverti, désagréable, peu conscient, stable émotionnellement et très ouvert par le vecteur suivant :

$$p = \begin{bmatrix} 0,8 \\ -0,2 \\ 0,1 \\ -0,3 \\ 0,7 \end{bmatrix} \quad \forall i \in [1, n], p_i \in [-1, 1]$$

Soit $e = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ l'ensemble des émotions que le PNJ peut ressentir et exprimer. La dimension m étant définie par le modèle émotionnel utilisé ($m=22$ pour le modèle OCC, 17 pour le modèle de Roseman et al., etc.). Comme mentionné ci-dessus, l'état émotionnel évolue à travers le temps et les

situations. Par conséquent, nous définissons l'état émotionnel à l'instant t soit $e(t)$ par l'intensité de chaque émotion de l'ensemble e à l'instant t , avec :

$$e(t) = \begin{bmatrix} e_1(t) \\ e_2(t) \\ \vdots \\ e_m(t) \end{bmatrix} \forall j \in [1, m], e_j \in [0, 1]$$

où chaque e_j peut avoir une intensité appartenant à l'intervalle $[0, 1]$, où 1 représente l'intensité maximale de l'émotion et 0 représente l'absence de l'émotion. Le choix d'une représentation avec un seul pôle est justifié par le fait que certaines émotions ont par définition qu'un seul pôle. Par exemple, la *peur* pour le modèle OCC ou la *surprise* pour le modèle de Roseman et al.

Les émotions sont également caractérisées par d'autres informations. En effet, selon la personnalité de l'individu, l'intensité émotionnelle et son affaiblissement sont affectés. Ainsi, chaque émotion est caractérisée par un *état stable*, un *seuil d'activation* et une *fonction d'affaiblissement* :

- L'*état stable* correspond à l'intensité émotionnelle du PNJ sous aucune influence de stimuli internes ou externes. Cet état permet au personnage de ressentir, en fonction de sa personnalité, certaines émotions avec plus d'intensité que d'autres. Par exemple, un personnage extraverti a tendance à ressentir l'émotion de joie avec plus d'intensité que la tristesse (Costa & McCrae, 1980).
- Le *seuil d'activation* d'une émotion donnée est l'intensité minimale à partir de laquelle le PNJ peut exprimer cette émotion. En effet, selon (Izard, Hembree, & Huebner, 1987) chaque individu possède des seuils d'activations propres à chaque émotion. Par exemple, une personne avec un score élevé de neuroticisme a tendance à exprimer plus facilement les émotions négatives par rapport à une personne stable émotionnellement.
- La *fonction d'affaiblissement* représente l'évolution de l'intensité émotionnelle du PNJ pour rejoindre son état stable.

Fonction d'affaiblissement

Dans la mesure où les émotions ne disparaissent pas une fois que leurs causes sont disparues mais s'affaiblissent à travers le temps, il devrait être nécessaire de prendre en compte ce phénomène dans le processus émotionnel, afin de réaliser un modèle émotionnel plus réaliste. Pour cela, le modèle doit être capable de réduire les émotions progressivement, après chaque cycle de temps, jusqu'à rejoindre l'état stable.

Dans (Reeves & Nass, 1996), les auteurs stipulent que les individus tendent en réalité à oublier les émotions positives plus rapidement que les émotions négatives. En ce sens, plusieurs modèles, par exemple (Seif El-Nasr, Yen, & Loerger, 2000), proposent de réduire les émotions en utilisant deux constantes, une plus rapide pour l'affaiblissement des émotions positives, et l'autre moins rapide pour les émotions négatives. L'inconvénient de cette solution réside, d'une part, dans le fait qu'elle ignore l'influence de la personnalité sur l'affaiblissement malgré son impact, voir par exemple (Bui, Heylen, Poel, & Nijholt, 2002; Prendinger, Descamps, & Ishizuka, 2002). D'autre part, elle donne aux émotions du même genre (positives ou négatives) le même affaiblissement, alors qu'il peut y avoir des émotions du même genre dont l'affaiblissement est différent. Par exemple, l'affaiblissement de l'émotion colère doit être plus rapide que celui de l'émotion l'angoisse (Reilly, Carbonell, Simmons, Scott, & Reilly, 1996)

À partir de cela, nous modélisons l'affaiblissement de chaque émotion par une fonction monotone décroissante, dont l'allure dépend de la personnalité, qui tend vers l'état stable. De manière générale, soit $e(t')$ l'état émotionnel calculé à l'instant t' . Pour chaque émotion e_j appartenant à l'ensemble e , nous définissons l'affaiblissement de $e_j(t')$ à l'instant t (avec $t-t' = \Delta > 0$) par la fonction :

$$d_j(\Delta) = \begin{cases} e_j(t') & \text{si } \Delta = 0 \\ g_j(t' + \Delta) & \text{si } T_j > \Delta > 0 \\ \text{etat stable} & \text{si } \Delta \geq T_j \end{cases}$$

Avec T_j représente la durée d'affaiblissement total de e_j .

La fonction g_j est définie de manière à ce que $d_j(\Delta)$ soit continue et monotone décroissante. Plusieurs fonctions peuvent être définies à partir de cette formalisation. Par exemple, $g_j(\Delta) = e_j(t') * e^{-b*\Delta}$ ou $g_j(\Delta) = b*\Delta + e_j(t')$, pour tout $T_j > \Delta \geq 0$. b est défini à partir de la personnalité et la catégorie émotionnelle e_j en question.

$$D(\Delta) = \begin{bmatrix} d_1(\Delta) \\ d_2(\Delta) \\ \vdots \\ d_m(\Delta) \end{bmatrix}$$

L'affaiblissement de toutes les catégories émotionnelles $d_j(\Delta)$ de l'ensemble e est représenté par le vecteur $D(\Delta)$ de dimension m comme il est montré ci-dessus.

Sensibilité aux émotions

En se basant sur la psychologie, nous estimons que les facteurs de personnalité reflètent les différences individuelles dans la réactivité et la sensibilité aux différentes émotions. En effet, il existe une forte corrélation entre certains facteurs de personnalité et les émotions. Par exemple, entre le neuroticisme, ses facettes, et les émotions négatives. De même qu'entre l'extraversion, ses facettes, et les émotions positives (Watson & Lee, 1992). Plusieurs travaux, notamment (Costa & McCrae, 1980) (Emmons & Ed, 1986), mettent en évidence des corrélations positives entre le neuroticisme et les émotions négatives, et l'extraversion et les émotions positives, alors qu'il n'y a pas de corrélation entre le neuroticisme et les émotions positives ainsi qu'entre l'extraversion et les émotions négatives¹⁶. Le facteur de personnalité agréabilité a une influence sur la sensibilité des émotions exprimées envers les autres. Cette influence est positive pour les émotions positives, telles que l'amour, être heureux ou désolé pour quelqu'un, et négative pour les émotions négative telle que la haine.

De manière générale, nous représentons la corrélation entre le facteur de personnalité p_i et l'émotion e_j par la fonction $f(p_i, e_j)$. Ainsi se forme une matrice $M_{n \times m}$ représentant les corrélations entre les facteurs de personnalité et les émotions. L'inexistence de corrélation entre p_i et e_j se traduit par $f(p_i, e_j) = 0$. Nous supposons que pour chaque colonne de la matrice M , il existe au moins une fonction non nulle.

$$M = \begin{bmatrix} f(p_1, e_1) & \cdots & f(p_1, e_m) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f(p_n, e_1) & \cdots & f(p_n, e_m) \end{bmatrix} \quad \forall i \in [1, n] \text{ et } j \in [1, m], f(p_i, e_j) \in [0, 1] \forall p_i \in [-1, 1]$$

La sensibilité à l'émotion e_j est calculée par une fonction prenant en compte tous les facteurs de p en corrélation avec e_j , ainsi :

¹⁶ Wallace et Newman (Wallace & Newman, 1998) ont un point de vue différent. Ils proposent qu'un niveau élevé d'extraversion devrait être associé à une sensibilité accrue aux stimuli positifs et un niveau faible d'extraversion à une sensibilité accrue aux stimuli négatifs. Quand au neuroticisme, il refléterait la réactivité du système d'activation non spécifique de Gray (Gray, 1987) (NAS: Non specific Arousal System) et serait par conséquent déterminé à la fois par le système d'activation comportementale (BAS: Behavior Activation System) et le système d'inhibition comportementale (BIS: Behavior Inhibition System). Ces derniers sont associés respectivement aux émotions positives et négatives. Cependant, (Luminet & Vermeulen, 2004) expose un certain nombre d'expériences qui confirment la théorie suivant laquelle le traitement émotionnel de l'information négative est prédit spécifiquement par le score de neuroticisme mais n'est pas prédit négativement par celui d'extraversion, et c'est ce que nous retenons.

$$s_j = \frac{\sum_{i=1}^n f(p_i, e_j)}{\text{card}\{f(p_i, e_j) \neq 0\}_{i=1,n}}$$

Une fois les s_j calculées, nous représentons la sensibilité aux émotions de l'ensemble e par le vecteur s :

$$s = \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \vdots \\ s_n \end{bmatrix}$$

Mise à jour de l'état émotionnel

La mise à jour de l'état émotionnel est inscrite dans un processus proche de celui du modèle OCC (Ortony, Clore, & Collins, 1988). Ce processus recense les étapes de *classification*, *quantification*, *interaction* et *mapping*. Il est déclenché après chaque cycle de temps ou après chaque réception d'un stimulus.

1) Classification

Cette étape consiste à associer aux événements du jeu des potentiels émotionnels. Ces derniers sont obtenus soit par une perception directe, s'ils sont prédéfinis, soit à partir d'une interprétation de l'impact de l'événement sur l'état du PNJ (ses objectifs, personnalité, etc.). Dans ce dernier cas, il s'agit d'évaluer l'événement en s'appuyant sur les modèles de la théorie de l'évaluation cognitive. Formellement, le potentiel émotionnel est représenté par un vecteur de dimension m dont chaque composante représente une intensité émotionnelle.

2) Quantification

Dans cette étape, on calcule l'influence du potentiel émotionnel (généré par l'étape de classification) sur les émotions du PNJ.

L'influence du potentiel émotionnel a sur les émotions d'un PNJ muni d'une personnalité p est calculée en fonction de la sensibilité aux émotions, ainsi :

$$\text{influence}(a/e) = \begin{bmatrix} s_1 * a_1 \\ s_2 * a_2 \\ \vdots \\ s_m * a_m \end{bmatrix}$$

3) Interaction

Dans cette étape, l'influence du stimulus sur les émotions, soit *influence(a/e)*, est mise en interaction avec les émotions antérieures stockées dans la mémoire émotionnelle. Deux conceptions sur la mémoire émotionnelle prédominent : le *stockage* et la *reconstruction*. L'hypothèse de la reconstruction est défendue par William James et (Levine, 1997). Ils considèrent que les réactions émotionnelles sont reconstruites à partir du rappel des circonstances qui ont provoqué l'émotion. Parmi les travaux qui soutiennent l'hypothèse du stockage, on trouve (Ledoux, 1992) et (Zajonc, 1980) qui stipulent que les émotions sont stockées en mémoire de manière séparée des événements et c'est cette hypothèse que nous retenons. Cela signifie que la mémoire émotionnelle ne contient que les intensités des différentes émotions sans les événements qui les ont causées.

Soit a le potentiel émotionnel d'un événement perçu par un PNJ à l'instant t . L'état émotionnel de ce dernier est calculé en fonction du stimulus et l'affaiblissement des émotions antérieures calculées à l'instant t' comme suit:

$$\begin{aligned} \text{currentState} &= D(\Delta t), \text{ avec } \Delta = t - t' \\ m &= \min(\text{currentState}, \text{influence}(a/e)) \\ M &= \max(\text{currentState}, \text{influence}(a/e)) \\ \text{currentState} &= M + (1 - M) * m \end{aligned}$$

4) Mapping

Dans cette étape, le processus génère un état émotionnel cohérent. En effet, l'état émotionnel calculé lors de la phase d'interaction, peut contenir des émotions contradictoires. Cette étape permet, sur la base de la personnalité et des intensités émotionnelles, de produire un état homogène.

```

Entrée :
- p = personality factors
- e = emotional categories
- M : personality-emotion influence

Sortie :
- e(t) : currentState

Initialisation :
- currentState = stableState
- oldTime = currentTimeSystem

while (timeSampling or Stimulus) do
  Δt = currentTimeSystem - oldTime
  oldTime = currentTimeSystem
  currentState = decayCurrentState(Δt)

  if (stimulus a) then
    m = min (currentState, influence (a/e,p))
    M = max (currentState, influence (a/e,p))
    currentState = M + (1 - M) * m
  end
end

```

Algorithme 4 : Mise à jour de l'état émotionnel

L'Algorithme 4 résume les différentes étapes de mise à jour de l'état émotionnel.

2.5.3 Applications : jeux vidéo

Dialogue fondé sur les Emotions, l'Expérience et la Personnalité (DEEP)

Sur la base des modèles présentés ci-avant, nous avons développé un logiciel permettant de simuler les réactions émotionnelles des personnages synthétiques en fonction des événements de l'environnement. Pour cela, le logiciel permet de configurer les facteurs de personnalité et des émotions que l'utilisateur souhaite mettre en œuvre ainsi que les corrélations entre ces deux facteurs. Comme le montre la Figure 19 (à gauche), il s'agit de spécifier les fonctions qui déterminent les corrélations entre les facteurs de personnalité et les émotions.

Une fois la phase de configuration terminée, l'utilisateur peut créer autant de personnages qu'il le souhaite. Comme le montre la Figure 19 (à droite), chaque personnage est défini par une personnalité propre ainsi que des caractéristiques émotionnelles (l'état stable, le seuil d'activation et la fonction d'affaiblissement) conformes à sa personnalité. La simulation peut se dérouler de deux manières non exclusives : soit par le lancement des stimuli au cours de la simulation, soit par la création d'un calendrier de stimuli. Ce dernier consiste à associer à chaque stimulus l'instant de son déclenchement.

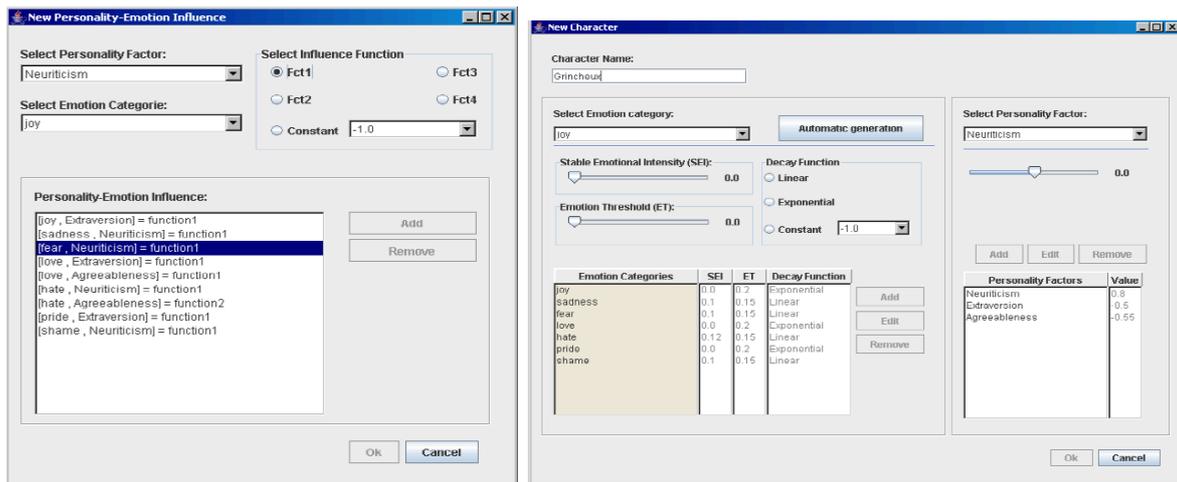


Figure 19 : Interfaces de configuration du modèle émotionnel et de création de PNJ

Comme le montre la Figure 20, la visualisation de la simulation est représentée sous forme de courbes montrant l'évolution des intensités émotionnelles au fil du temps.

Validation

Notre travail a été appliqué dans le cadre du projet DEEP (Dialogue fondé sur les Emotions, l'Expérience et la Personnalité adapté aux jeux vidéo). L'objectif général du projet est de fournir aux concepteurs de jeux d'aventure des techniques et des outils qui leur permettent de mettre en scène des PNJ munis d'une personnalité propre et capables d'exprimer des émotions adaptées à la situation lors de leurs dialogues avec le joueur humain. Cet objectif est soumis à une contrainte d'ordre d'interface. Il s'agit de définir des IHM simples et intuitives pour qu'elles puissent être accessibles à des concepteurs disposant d'un minimum de connaissances en programmation.

Dans le cadre de ce projet, nous avons défini un modèle de PNJ basé sur trois facteurs de personnalité, à savoir : l'extraversion (vs. introversion), agréabilité (vs. désagréabilité) et neuroticisme (vs. stabilité émotionnelle) et de sept émotions : joie, tristesse, peur, amour, haine, fierté et honte.

Afin de mieux analyser les différences individuelles des réactions émotionnelles, nous avons créé trois personnages de différentes personnalités : Grincheux lunatique, Max le surfeur et Minie. Les caractéristiques de ces personnages sont présentées dans le Tableau 8. Le personnage *Grincheux lunatique* est caractérisé par un score élevé de neuroticisme et de désagréabilité et un caractère introverti. À l'opposé, le personnage *Max le surfeur* est stable émotionnellement, très agréable et extraverti. Tandis que le personnage *Minie* a un score moyen de neuroticisme, agréable et peu extraverti.

Facteur de personnalité	Emotion	État stable	Seuil d'activation	Fonction d'affaiblissement
Grincheux lunatique				
Agréabilité (-0,55) Neuroticisme (0,8) Extraversion (-0,5)	joie	0	0,2	Exponentiel
	Tristesse	0,1	0,15	Linéaire
	Peur	0,1	0,15	Linéaire
	Amour	0	0,2	Exponentiel
	Haine	0,12	0,15	Linéaire
	Fierté	0	0,2	Exponentiel
	Honte	0,1	0,15	Linéaire
Max le surfeur				
Agréabilité (-0,6) Neuroticisme (0,7) Extraversion (0,5)	joie	0,1	0,15	Linéaire
	Tristesse	0	0,2	Exponentiel
	Peur	0	0,2	Exponentiel

	Amour	0,15	0,17	Linéaire
	Haine	0	0,2	Exponentiel
	Fièrté	0,1	0,15	Linéaire
	Honte	0	0,2	Exponentiel
Minie				
Agréabilité (0,4) Neuroticisme (0,5) Extraversion (0,3)	joie	0,07	0,2	Linéaire
	Tristesse	0,1	0,15	Linéaire
	Peur	0,1	0,15	Linéaire
	Amour	0,15	0,17	Linéaire
	Haine	0	0,2	Exponentiel
	Fièrté	0,07	0,2	Linéaire
	Honte	0,1	0,15	Linéaire

Tableau 8 : Exemples de personnages non joueurs

Par la suite, nous avons soumis ces trois personnages au scénario suivant : « *Le personnage vient de passer son baccalauréat. Le jour des résultats, il découvre qu'il a non seulement obtenu l'examen mais également avec mention. À cette occasion, il reçoit un cadeau de sa copine. Quelques instants plus tard, elle lui propose de faire un tour en ville pour prendre des verres. En passant par un bar, ils assistent à une bagarre ! Dans la foule, il perd les clés de la maison...* »

Le Tableau 9 montre les différents potentiels émotionnels associés aux événements de ce scénario.

<i>Stimuli</i>	Potentiel émotionnel						
	<i>joie</i>	<i>Tristesse</i>	<i>Peur</i>	<i>Amour</i>	<i>Haine</i>	<i>Fièrté</i>	<i>Honte</i>
Obtention du bac	0,7	0	0	0	0	0,6	0
Cadeau	0,5	0	0	0,6	0	0	0
Bagarre	0	0	0,7	0	0,2	0	0
Perte des clés	0	0,4	0,2	0	0	0	0,5
Trouve les clés	0,4	0	0	0	0	0,2	0

Tableau 9 : Exemple de potentiels émotionnels des stimuli

Les stimuli sont déclenchés en même temps pour les trois personnages. La Figure 20 montre les résultats de la simulation.

On remarque que les personnages extravertis (Max et Minie) sont sensibles aux événements provoquant les émotions positives : Obtention du bac, Cadeau de la copine et Trouve les clés. Cette sensibilité est traduite par une intensité importante des émotions positives avec un faible affaiblissement. Toutefois, la réaction émotionnelle de Max est plus importante dans l'intensité et dans la durée d'affaiblissement que celle de Minie. Ceci s'explique par le fait que Max a un score d'extraversion plus élevé que Minie. Grincheux par son caractère introverti est moins sensible à ces événements dans la mesure où l'intensité émotionnelle déclenchée par ces événements est moins importante et ne dure que très peu de temps.

Les personnages avec un score élevé de neuroticisme (Minie et Grincheux) ont révélé une sensibilité aux événements provoquant les émotions négatives : Bagarre dans la rue et Perte des clés. Ces événements déclenchent des émotions avec plus d'intensité et dont l'affaiblissement est moins rapide. En revanche, Max le surfeur a peu peur de la bagarre et n'a manifesté aucune réaction émotionnelle suite à la perte des clés.

Minie et Max par leur caractère agréable ont montré une forte réaction émotionnelle d'amour suite à la réception du cadeau, alors que Grincheux par son caractère désagréable n'a montré que très peu d'émotion.

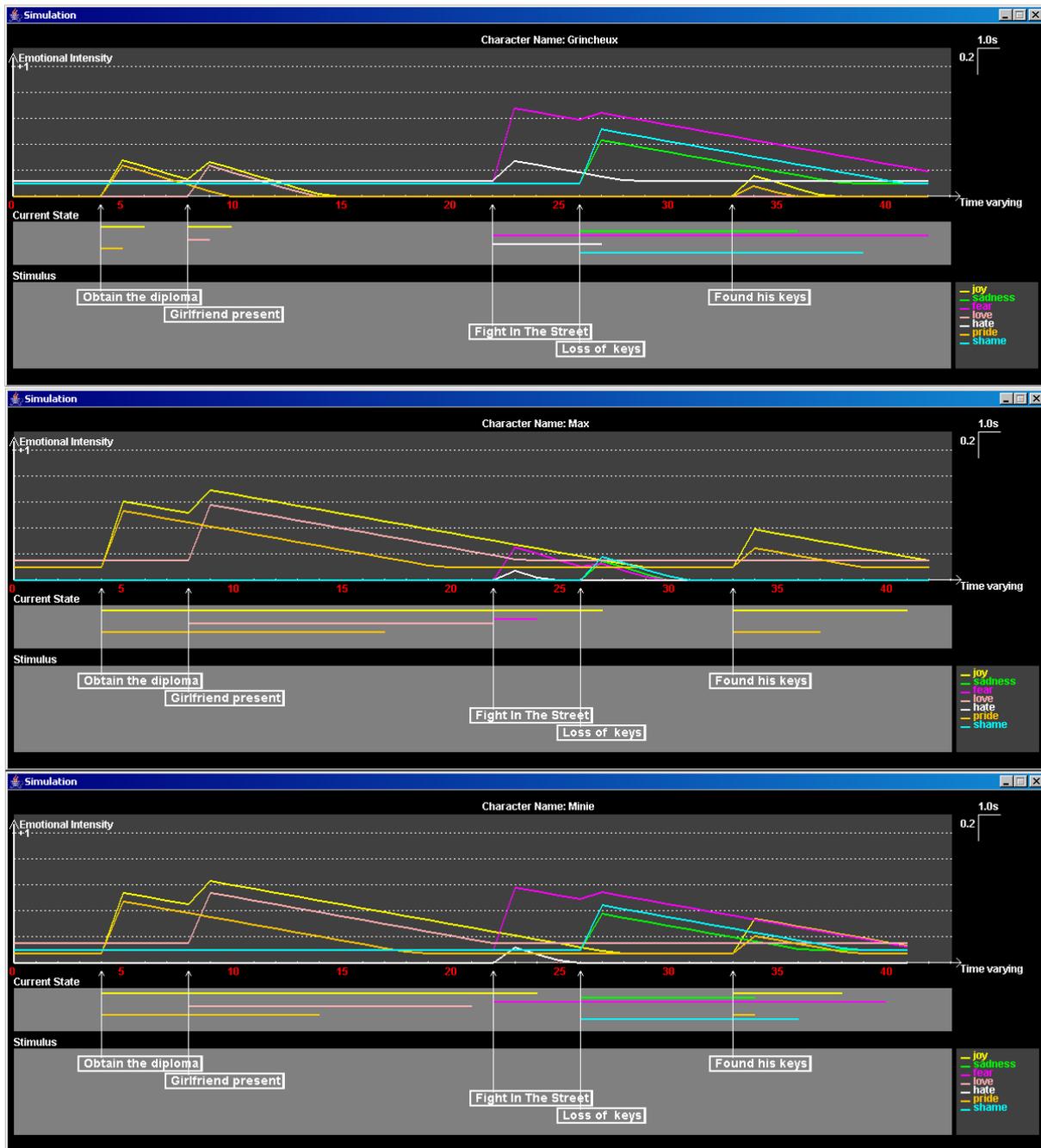


Figure 20 : Évolution de l'état émotionnel

Prise en compte des interactions sociales (Be In Game)

Dans nos travaux décrits précédemment, le processus émotionnel est basé sur la personnalité et la mémoire émotionnelle du personnage. Dans le cadre du projet BeInG, démarré en février 2014, nous nous intéressons à la prise en compte des interactions sociales dans la perception et l'expression des émotions. Il s'agit, par exemple, d'intégrer des idéologies, croyances ou des préjugés dans la perception et l'expression des émotions. Un personnage pourra ainsi réagir différemment envers d'autres personnages selon leur historique de relation mais aussi selon l'appartenance à tel ou tel groupe social identifié par le personnage. Ainsi, l'approche que vise le projet devrait se focaliser sur les facteurs de personnalité ainsi que les normes sociales qui favorisent le déclenchement des émotions et l'influence de ces facteurs et normes sur le comportement et l'évolution des relations sociales entre personnages.

D'un point de vue scientifique, il s'agit de développer une approche à base de trace modélisée pour la perception et l'expression émotionnelles dans l'interaction entre agents. Sur la base des travaux de l'équipe SILEX sur l'expérience tracée, notre objectif est de proposer des modèles de traces de l'activité et des transformations de traces permettant à chaque personnage d'identifier l'état émotionnel de son interlocuteur et d'adapter, en fonction, son comportement.

Les traces représentent ici les interactions entre le personnage non joueur et son environnement. Ce dernier inclut le joueur, les autres personnages non joueurs et les objets du jeu. Le principe de notre approche est d'extraire, à partir des traces premières, des informations de haut niveau qui permettent au personnage d'évaluer l'évènement, selon les critères du modèle émotionnel utilisé (Ortony, Clore, & Collins, 1988; Roseman, Spindel, & Jose, 1990), afin de calculer son impact sur son état émotionnel. Cette évaluation est donc basée sur des transformations de traces. Les transformations nécessitent des connaissances relatives à la personnalité du personnage, son expérience ainsi que ces relations sociales.

2.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté nos travaux sur l'adaptation dynamique des systèmes interactifs. Ces travaux portent sur la génération adaptative des scénarios dans les serious games, l'adaptation des traces partagées et le calcul de l'état émotionnel des personnages non joueurs.

Concernant la génération de scénarios, les modèles théoriques que nous avons élaborés ont été développés dans le cadre de la plate-forme GOALS. Cette plate-forme est caractérisée par sa capacité à produire de manière automatique des scénarios adaptés à l'utilisateur en prenant en compte son profil et ses objectifs d'apprentissage. Elle est également générique, c'est-à-dire indépendante du domaine d'application, et évolutive, c'est-à-dire capable de faire évoluer ses connaissances (notamment le profil de l'utilisateur et les connaissances du domaine) à partir des interactions avec l'utilisateur.

Le générateur GOALS a été utilisé dans le cadre du projet CLES par plusieurs experts et utilisateurs en situation de handicap. GOALS a montré sa capacité à produire des scénarios adaptés à l'utilisateur et efficace pour son apprentissage. Dans le chapitre suivant, nous exposons les techniques que nous avons mises en œuvre pour la mise à jour des connaissances dans GOALS à partir des traces d'interaction.

Nous avons également exposé l'adaptation dynamique des traces partagées. Cette adaptation consiste à transformer les traces partagées pour les rendre adaptées et accessibles à leurs utilisateurs cibles. Pour cela, le processus de transformation prend en compte les propriétés du profil utilisateur, notamment ses capacités cognitives et sensorielles, ses compétences et ses préférences, ainsi que les connaissances d'adaptation. Ces dernières peuvent être définies par l'expert du domaine ou extraites automatiquement à partir d'une base de traces contenant l'historique des interactions de plusieurs utilisateurs (Sehaba, 2011; Sehaba, 2012).

Ce travail a été appliqué au partage d'expériences entre apprenants dans un environnement d'apprentissage en ligne et au partage d'expériences entre utilisateurs avec et sans déficience visuelle. Il s'agit d'utiliser la trace d'un utilisateur voyant pour aider un utilisateur non voyant à effectuer rapidement et efficacement sa tâche.

La troisième contribution porte sur la génération des émotions pour les personnages non joueurs dans les jeux. Il s'agit de permettre aux concepteurs de jeu de mettre en scène des personnages dotés de personnalités et capables d'exprimer des émotions adaptées à la situation. Les modèles formels que nous avons proposés s'appuient sur des travaux issus de la psychologie et des sciences cognitives. Ces modèles ont été développés sur un simulateur qui calcule et visualise, sous forme de courbes, l'état émotionnel des personnages en prenant en compte les événements produits dans l'environnement.

Ce simulateur a été testé dans le cadre d'une expérimentation basée sur trois personnages de différentes personnalités. Ainsi, en fonction de celles-ci, la perception émotionnelle était différente.

Dans tous ces travaux, nous avons supposé que les connaissances (profil de l'utilisateur, connaissances du domaine, connaissances d'adaptation) sont définies soit par l'expert du domaine soit par l'utilisateur du système. Dans le chapitre suivant, nous montrons comment nous pouvons extraire automatiquement ces connaissances à partir des traces d'interaction.

Chapitre 3 : Extraction de connaissances à partir de traces

3.1 Introduction

Une des spécificités des systèmes adaptatifs est leur capacité à apprendre à partir de leurs interactions avec l'utilisateur. Plusieurs méthodes d'apprentissage ont été développées. Ces méthodes reposent sur une panoplie de techniques telles que le data mining, le raisonnement à partir de cas, la comparaison de cas, etc. Dans nos travaux, nous avons exploré l'apprentissage à partir des traces d'interaction. L'objectif est d'extraire de manière interactive des connaissances du domaine, des connaissances d'adaptation et de mettre à jour le profil de l'utilisateur en se basant sur des données issues des interactions entre l'utilisateur et son environnement informatique. Dans ce cadre, la principale spécificité de nos contributions est la prise en compte des feedbacks des utilisateurs dans le processus d'apprentissage. Le tableau ci-après décrit notre positionnement par rapport à l'espace de conception de l'adaptation présenté dans le premier chapitre (page 33).

Quoi adapter ?	Connaissances du domaine	Connaissances d'adaptation	Profil de l'utilisateur
Pourquoi adapter ?	S'adapter aux différentes situations rencontrées dans la pratique		
Qui adapte ?	Adaptation automatique et semi-automatique		
Quand adapter ?	Adaptation après l'exécution du système		
À quoi s'adapter ?	Contexte d'usage : <utilisateur, plate-forme, situation d'interaction>		
Comment adapter ?	Analyse de traces d'interaction		

Tableau 10 : Positionnement de notre approche d'extraction de connaissances

Dans ce chapitre, nous nous intéressons, dans un premier temps, à la mise à jour du profil de l'utilisateur et des connaissances du domaine dans le cadre des environnements informatiques pour l'apprentissage humain. Nos travaux, dans ce domaine, ont porté sur l'architecture GOALS (cf. chapitre 2) qui repose sur un modèle de recouvrement (*Overlay model*). Cette dernière organise les connaissances du domaine en trois couches en relation : concepts du domaine, ressources pédagogiques et ressources du jeu. Le profil est représenté par un ensemble de couples de la forme $\{<attribut_i, valeur_i>\}$ où $attribut_i$ est un concept du domaine et $valeur_i$ correspond au niveau de maîtrise de l'utilisateur sur ce concept. La mise à jour des connaissances du domaine consiste à modifier l'organisation des concepts de la première couche ainsi que leurs relations avec les ressources pédagogiques. La mise à jour du profil permet de faire évoluer les valeurs des attributs des différents concepts en fonction des performances de l'utilisateur.

Ensuite, nous présentons nos travaux sur l'extraction interactive de connaissances d'adaptation. Il s'agit de générer des connaissances qui permettent aux systèmes de s'adapter aux différents utilisateurs et situations d'interaction. Notre approche est basée sur les traces laissées par les utilisateurs lors de leurs interactions avec le système. Ces traces incluent les feedbacks, positifs ou négatifs, des utilisateurs sur les actions du système. Ce travail a été appliqué sur un robot compagnon développé dans le cadre du projet Robot Populi.

Pour chacune de ces deux contributions, nous positionnons, dans un premier temps, nos travaux par rapport à des approches existantes. Ensuite, nous donnons une synthèse de nos contributions théoriques. C'est principalement des modèles formels de représentation de connaissances et de raisonnement sur celles-ci. Afin d'illustrer ces contributions, nous présentons leurs applications dans des applications concrètes. Ces applications nous ont permis de démontrer la faisabilité de nos approches et aussi de les valider avec de vrais utilisateurs.

3.2 Mise à jour des connaissances du domaine et du profil de l'utilisateur

3.2.1 Problématique et positionnement scientifique

Dans le domaine des EIAH, la modélisation des connaissances du domaine est un problème complexe qui nécessite la prise en compte des contraintes *conceptuelles* liées au domaine pédagogique, *techniques* liées aux dispositifs informatiques et *pratiques* liées aux ressources pédagogiques disponibles. Ainsi, si on prend l'exemple de la plate-forme GOALS, cette modélisation consiste à représenter les *concepts* du domaine d'une part, et d'autre part les *relations* entre : les différents concepts, les concepts et les ressources pédagogiques, les ressources pédagogiques et les ressources du jeu. Il est donc difficile pour un expert humain de définir un modèle de connaissances qui convient à tous les profils d'apprenants et qui couvre tous les contextes et les stratégies d'apprentissage. C'est pourquoi des méthodes de génération automatique du modèle du domaine ont été développées. Dans ce cadre, (Tiffany, 2005) (Barnes, Stamper, Stamper, & Madhyastha, 2006) proposent une méthode, appelée *q-matrice*, permettant de créer un modèle du domaine à partir des données issues des activités des apprenants. Le modèle généré est utilisé à la fois pour comprendre les comportements des apprenants et prédire les parcours d'apprentissage des futurs apprenants.

(Romero, Ventura, & De Bra, 2004) utilisent des techniques de data mining, basées sur la programmation génétique et l'optimisation multi-objectifs (Freitas, 2002), pour extraire des connaissances, sous forme de règles de prédiction, permettant à l'enseignant d'améliorer son cours. Ces techniques permettent de découvrir des relations de dépendance, entre les concepts du domaine et les ressources pédagogiques, en s'appuyant sur des données utilisateurs collectées durant leurs interactions avec l'environnement d'apprentissage.

D'autres approches s'appuient sur des processus de fouille de textes (*text-mining*) telles que (Velardi, Fabriani, & Missikoff, 2001) ou (Zouaq & Nkambou, 2008). Ces travaux consistent à extraire des concepts du domaine, modélisés sous forme d'ontologies, à partir des textes (supports de cours, exercices...) afin d'assister le formateur dans sa tâche de création et de mise à jour du modèle de domaine. Dans (Šimko, 2012), les auteurs utilisent le même principe pour la découverte de relations entre concepts.

Les performances de ces méthodes sont dépendantes de la qualité et de la quantité des données utilisées. Également, la sémantique des concepts et des relations extraits par ces méthodes n'est pas explicite. En effet, ces techniques permettent de trouver des relations entre concepts mais ne disent rien sur les types de ces relations.

Nos travaux portent sur la mise à jour des connaissances, définies par l'expert du domaine, à partir des traces d'interaction. Il s'agit de confronter les connaissances du domaine avec les pratiques réelles des apprenants afin d'identifier d'éventuelles erreurs et/ou incomplétudes dans le modèle du domaine. Pour cela, notre approche consiste à collecter les données issues des interactions entre l'apprenant et l'environnement d'apprentissage, de les représenter dans des traces modélisées, puis d'analyser ces dernières afin de mettre à jour à la fois les connaissances du domaine et les profils des utilisateurs.

Le travail présenté dans cette section est basé sur l'architecture GOALS (cf. section 2.3.2) dédiée à la représentation de connaissances et la génération de scénarios dans les serious games. Dans ce cadre, la mise à jour des profils consiste à faire évoluer les valeurs des différents concepts en fonction des performances des apprenants, et la mise à jour des connaissances consiste à ajouter, supprimer ou modifier des concepts ou des relations de la première couche.

3.2.2 Mise à jour du profil

Rappelons qu'une trace est définie comme un ensemble d'observés temporellement situés. Les traces représentent les activités des apprenants sur les ressources pédagogiques du scénario d'apprentissage. Un scénario est une suite de ressources pédagogiques, intégrées dans un jeu vidéo, permettant à l'apprenant d'atteindre un ou plusieurs objectifs pédagogiques. Nous ne considérons ici que les ressources pédagogiques de type *test* telles qu'un exercice, un problème, un mini-jeu, un qcm, etc. Formellement, une trace T est définie comme suit¹⁷:

$$T = \langle id_p, \text{temps-début}, \text{temps-fin}, \text{méta-données}, o_1, o_2 \dots o_n \rangle, \text{ où}$$

- id_p est l'identifiant de l'utilisateur tracé ;
- temps-début et temps-fin sont les dates de début et de fin de la trace respectivement ;
- méta-données contiennent le modèle de présentation et les objectifs pédagogiques du scénario ;
- $o_1, o_2 \dots o_n$ sont les éléments observés de la trace. Ils représentent principalement les réponses de l'apprenant aux ressources de type test. Formellement, un élément observé o_i est défini comme suite : $o_i = \langle r_{pi}, \text{réponse}_i, \text{temps}_i, \text{évaluation-réponse}_i \rangle$:
 - r_{pi} est une ressource pédagogique de type test faisant partie du scénario d'apprentissage généré par GOALS ;
 - réponse_i est la réponse de l'apprenant ;
 - temps_i est le temps de réponse de l'apprenant ;
 - $\text{évaluation-réponse}_i$ est une fonction qui évalue la réponse de l'apprenant en prenant en compte le temps de réponse temps_i . Cette fonction retourne une valeur appartenant à $[0,1]$.

La mise à jour du profil de l'utilisateur est basée sur ses performances sur les ressources de type test. le processus de mise à jour repose sur trois étapes : (1) évaluation de la réponse de l'utilisateur, (2) mesure de l'impact de cette réponse sur les valeurs des concepts en relation avec la ressource pédagogique en question, puis (3) propagation de l'information dans le réseau de concepts.

Durant la première étape, le système évalue la réponse de l'utilisateur en prenant en compte le temps de réponse. Cette évaluation est assurée par la fonction *évaluation-réponse* qui consiste à attribuer, à la réponse de l'apprenant, une valeur appartenant à l'intervalle $[0, 1]$. Ensuite, il s'agit de calculer l'impact de cette évaluation sur les concepts auxquels la ressource pédagogique est liée. Pour cela, le système prend en compte l'évaluation de la réponse, calculée dans la première étape, et le niveau de difficulté de la ressource. La troisième étape consiste à propager l'information dans le réseau de concepts à travers les fonctions de dépendance *FType* (cf. section 2.3.2). Rappelons que dans GOALS, *FType* est une fonction qui permet de calculer les dépendances entre les concepts cibles *CTo* et leur concept source *CFrom*. C'est ainsi que les scores représentant les compétences et capacités de l'apprenant sont mis à jour.

La Figure 21 montre un exemple de mise à jour du profil dans le cadre du jeu Tom Oconor. Rappelons que, dans ce jeu, pour lancer un mini-jeu, l'utilisateur doit interagir avec un objet derrière lequel se cache ce mini-jeu. Comme le montre la figure, le mini-jeu « Objets entremêlés à identifier » (c.f. Figure 6), est en relation avec le concept « perception visuelle ». En effet, ce mini-jeu affiche à l'écran un modèle contenant plusieurs objets entremêlés et un ensemble d'objets simples. L'utilisateur doit identifier, parmi cet ensemble, les objets qui composent le modèle dans un laps de temps bien déterminé qui permet de stimuler sa perception visuelle.

¹⁷ Cette définition est une adaptation de la définition générique de trace (cf. page 33)

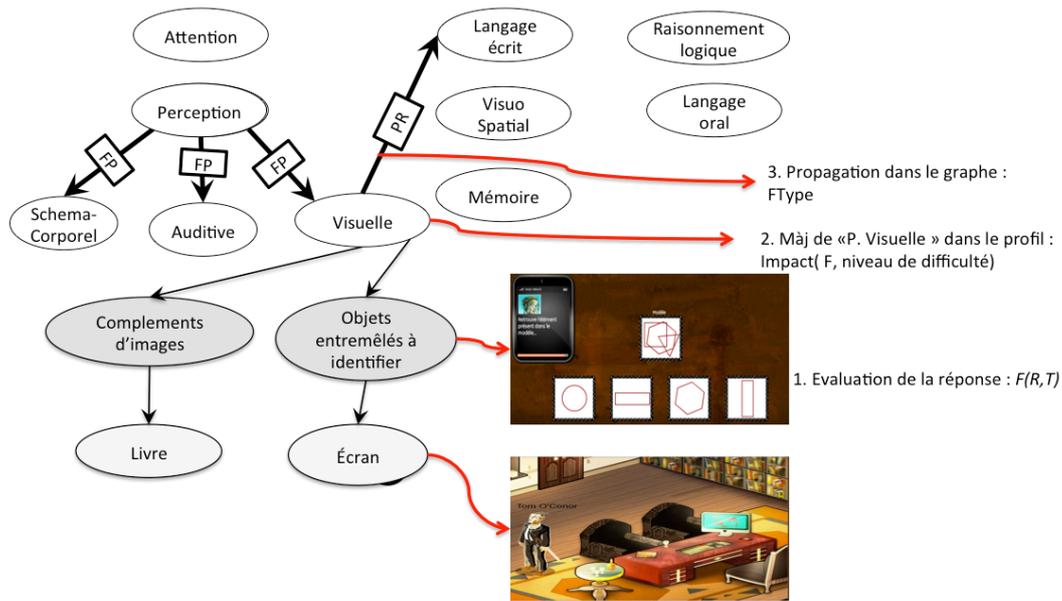


Figure 21 : Principe de mise à jour du profil de l'utilisateur

En fonction de la réponse de l'utilisateur et son temps de réponse, le mini-jeu lui attribue une valeur entre 0 et 1. Cette valeur est ensuite utilisée pour mettre à jour le concept « perception visuelle ». Ensuite, il s'agit de calculer l'impact de la nouvelle valeur de ce concept sur les concepts en relation avec ce dernier, à savoir : langage écrit et perception.

3.2.3 Mise à jour des connaissances du domaine

Nous nous sommes également intéressés à la mise à jour des concepts de la première couche. Rappelons que dans GOALS les concepts de cette couche sont organisés sous forme de graphe sans cycle où les nœuds correspondent aux concepts et les liens correspondent aux relations entre concepts. Nous nous sommes attachés à l'ajout de nouveaux concepts et de nouvelles relations dans le graphe. La méthode que nous proposons consiste à analyser les performances des apprenants ayant des profils identiques ou similaires sur des ressources pédagogiques liées au même concept, soit c_i . Si ces performances sont très différentes, ceci implique que le concept c_i doit être subdivisé en sous-concepts ou il manque des relations entre c_i et d'autres concepts. La Figure 22 présente un exemple simple du domaine des mathématiques. Dans cet exemple, le concept *addition* est lié à trois ressources pédagogiques de type exercice : $(3 + 2 = ?)$, $(5.4 + 5.6 = ?)$ et $(6 + 7 * 5 = ?)$.

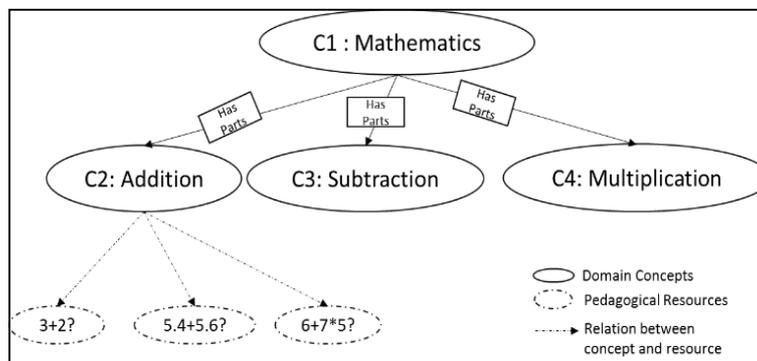


Figure 22 : Exemple simple de représentation de connaissances dans GOALS

Si ce modèle est correct, les réponses des apprenants, ayant des compétences similaires, à ces trois exercices devraient aussi être similaires. Si les réponses sont très différentes, il s'agit soit d'une erreur

de *diagnostic*, c'est-à-dire que les compétences des apprenants sont différentes, soit d'une erreur de modélisation, c'est-à-dire qu'il manque des concepts et/ou des relations dans le modèle du domaine.

En se basant sur la deuxième hypothèse, notre approche consiste à mettre en évidence les erreurs de modélisation en identifiant les concepts et les relations qui manquent dans la première couche. Cette approche repose sur la formalisation suivante :

- Soit $c = \{c_1, \dots, c_n\}$ l'ensemble des concepts du domaine ;
- Soit $q_i = \{q_1^i, \dots, q_m^i\}$ l'ensemble des ressources pédagogiques, de type test, liées au concept c_i avec $i = 1, n$;
- Soit $S = \{s_1, \dots, s_p\}$ l'ensemble des apprenants de profils similaires ayant répondu aux différents tests de q_i ;
- Soit E une matrice de dimension $p \times m$ où $E_{j,k} \in [0,1]$ étant l'évaluation de la réponse de l'apprenant s_j au test q_k^i . Cette évaluation est conservée dans la trace de l'apprenant s_j .

L'objectif maintenant est de découvrir de nouveaux sous concepts liés à c_i sur la base de la matrice d'évaluation E . Pour cela, dans un premier temps, les apprenants sont classés en fonction de leurs réponses aux différents test q_i en utilisant une méthode de classification (par exemple, l'algorithme du plus proches voisins). Si on identifie plus d'une classe d'apprenants, alors il est fort probable qu'il manque des sous-concepts en relation avec c_i . Dans ce cas, le résultat de classification est présenté à l'expert afin de valider ou non la création de nouveaux sous-concepts.

Afin d'illustrer nos propos, nous présentons un exemple simple sur le concept addition (cf. Figure 22). Soit cinq apprenants $S = \{s_1, s_2, s_3, s_4, s_5\}$ de profils similaires et trois ressources pédagogiques liées au concept addition : $3+2 = ?$, $5.4+5.6 = ?$ et $6+7*5 = ?$. Le Tableau 11 présente l'évaluation des réponses des apprenants à ces trois ressources. Les réponses sont évaluées sur l'échelle de $[0, 1]$. Rappelons que le temps de réponse est pris en compte dans cette évaluation.

Comme le montre ce tableau, les réponses des apprenants sont très différentes bien qu'ils aient le même niveau en addition. En effet, tous les apprenants ont réussi le premier exercice ; (S3, S4 et S5) ont réussi le deuxième ; et (S4 et S5) ont réussi le troisième. Suite à ce regroupement, les trois sous-concepts (correspondants à l'addition simple, de fractions, et addition et multiplication) seront proposés à l'expert.

Apprenants	Questions		
	$3+2 = ?$	$5.4+5.6 = ?$	$6+7*5 = ?$
S1	0,8	0,4	0,2
S2	0,8	0,2	0,2
S3	1	0,6	0,4
S4	1	0,8	0,6
S5	1	1	1

Tableau 11 : Exemple d'évaluation des réponses des apprenants.

Le même principe est utilisé pour ajouter des relations entre concepts. Si on reprend l'exemple de la Figure 22, la ressource $6+7*5 = ?$ nécessite des compétences en multiplication. Ainsi, il manque une relation entre le concept *multiplication* et cette ressource. Pour identifier ce genre d'erreur, nous classons les apprenants en deux groupes distincts G1 et G2. G1 étant le groupe d'apprenants qui a réussi ce test et G2 étant le groupe d'apprenants qui a échoué. Ensuite, nous cherchons les concepts maîtrisés par G1 et non par G2. L'ensemble de ces concepts est présenté à l'expert afin de valider la(les) relation(s) manquante(s).

3.2.4 Expérimentation et résultats

Afin de valider notre approche de mise à jour des connaissances du domaine, nous l'avons évaluée dans le cadre du projet CLES (cf. section 2.3.5). L'idée principale du protocole d'évaluation est de partir d'un modèle incomplet, puis de le mettre à jour à partir des traces afin de vérifier si notre approche détecte les concepts manquants. Le modèle initial porte sur le concept de perception (cf. Figure 23). Ce dernier est en relation avec plusieurs mini-jeux permettant de tester et d'améliorer les différents types de perception, à savoir : visuelle, auditive et schéma corporel.

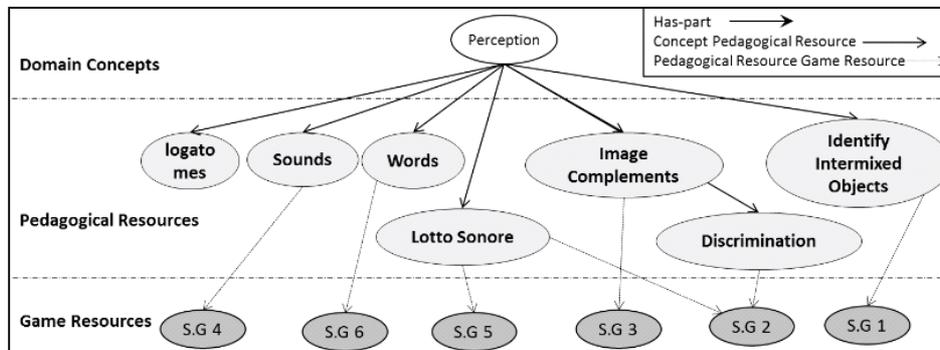


Figure 23 : Modèle du domaine initial

Ces mini-jeux ont été utilisés par 12 participants. Les profils de ces derniers ont été simulés. Le Tableau 12 montre les scores obtenus par rapport aux mini-jeux Discrimination, Lotto sonore et Logatomes. Ces jeux portent respectivement sur la perception visuelle, auditive et du schéma corporel.

Participants	Discrimination	Lotto Sonore	Gnoise Logatomes
Participant 1	0.8	0.25	0.1
Participant 2	0.2	0.7	0.2
Participant 3	0.85	0.15	0.15
Participant 4	0.15	0.7	0.15
Participant 5	0.8	0.2	0.2
Participant 6	0.75	0.2	0.15
Participant 7	0.2	0.9	0.25
Participant 8	0.9	0.25	0.3
Participant 9	0.25	0.1	0.9
Participant 10	0.1	0.85	0.1
Participant 11	0.15	0.3	0.85
Participant 12	0.2	0.25	0.8

Tableau 12 : Évaluation des réponses des participants

À partir de ces données, trois classes ont été générées : classe 1 (participants 1, 3, 5, 6 et 8), classe 2 (participants 2, 4, 7 et 10) et classe 3 (participants 9, 11 et 12). Comme le montre le Tableau 12, les participants du groupe 1 ont obtenu des scores assez élevés par rapport au mini-jeu Discrimination, alors que les scores des mini-jeux Lotto sonore et Logatome sont faibles. Ceci s'explique par le fait qu'ils ont un bon niveau de perception visuelle mais une faible perception auditive et de schéma corporel. De même pour les deux autres groupes : groupe 2, bon niveau de perception auditive et faible en perception visuelle et schéma corporel ; groupe 3, bon niveau en schéma corporel et faible en perception visuelle et auditive.

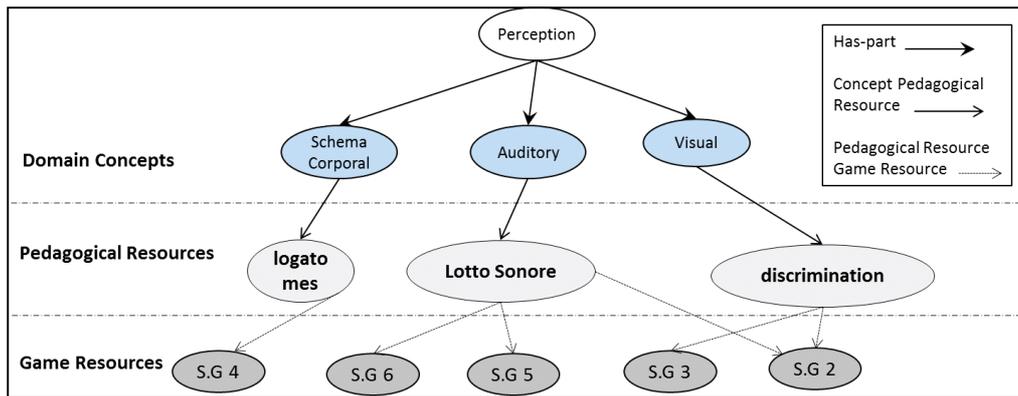


Figure 24 : Mise à jour du modèle du domaine

Le processus de classification a identifié les trois groupes (cf. Figure 24).. Ce résultat est cohérent avec le modèle d'origine de CLES (cf. Figure 7).

3.3 Extraction de connaissances d'adaptation à partir des feedbacks des utilisateurs

3.3.1 Problématique et positionnement scientifique

Les connaissances d'adaptation permettent aux systèmes de prendre des décisions adaptées au contexte d'usage. L'acquisition automatique de ce type de connaissances est un problème complexe et les solutions proposées sont généralement dépendantes du domaine d'application. Parmi celles-ci, on trouve des approches basées sur des techniques de data mining (Gaillard, Nauer, Lefevre, & Cordier, 2012), de raisonnement à partir de cas (Wiratunga, Craw, Rowe, & Sk Na, 2002; D'Aquin, Badra, Lafrogne, Lieber, Napoli, & Szathmary, 2007), ou de comparaison de cas (Hanney & Keane, 1997). Dans (Sehaba, 2011), nous avons proposé une approche d'extraction de connaissances d'adaptation basée sur les traces d'interaction. Les connaissances d'adaptation dans cette approche sont générées automatiquement à partir de l'analyse des traces représentant les activités des utilisateurs de profils très différents. L'application de ce travail, présentée dans la section 2.4.4, porte sur le partage d'expériences entre utilisateurs avec et sans handicap.

Dans (Knox & Stone), les auteurs proposent une approche d'extraction de connaissances basée sur les feedbacks des utilisateurs. À partir de ces feedbacks, l'approche génère des fonctions de renforcement en utilisant des méthodes d'apprentissage supervisé. Les fonctions de renforcement sont ensuite utilisées par le système, dans son processus de prise de décision, pour choisir les actions les plus appropriées à l'ensemble des utilisateurs. Même si ces techniques permettent l'apprentissage de certaines tâches, elles ne sont pas adaptées à des environnements interactifs nécessitant des adaptations aux particularités et aux spécificités de chaque utilisateur.

L'objectif de notre travail est de proposer une approche d'extraction interactive des connaissances d'adaptation à partir des feedbacks des utilisateurs. Les connaissances extraites doivent permettre au système interactif de s'adapter à chaque utilisateur en prenant en compte son contexte d'usage. Le contexte d'usage ici est caractérisé par le profil de l'utilisateur et la situation d'interaction. Cette dernière est définie comme étant l'état de l'environnement durant l'interaction.

3.3.2 Architecture et formalisations

Comme le montre la Figure 25, l'architecture du système est composée de quatre modules (traces, activités, profils et règles d'adaptation) et de deux moteurs de raisonnement permettant la

planification d'activités personnalisées et l'extraction de connaissances. Dans cette partie, nous nous focalisons sur l'extraction interactive de connaissances d'adaptation à l'aide des traces d'interaction.

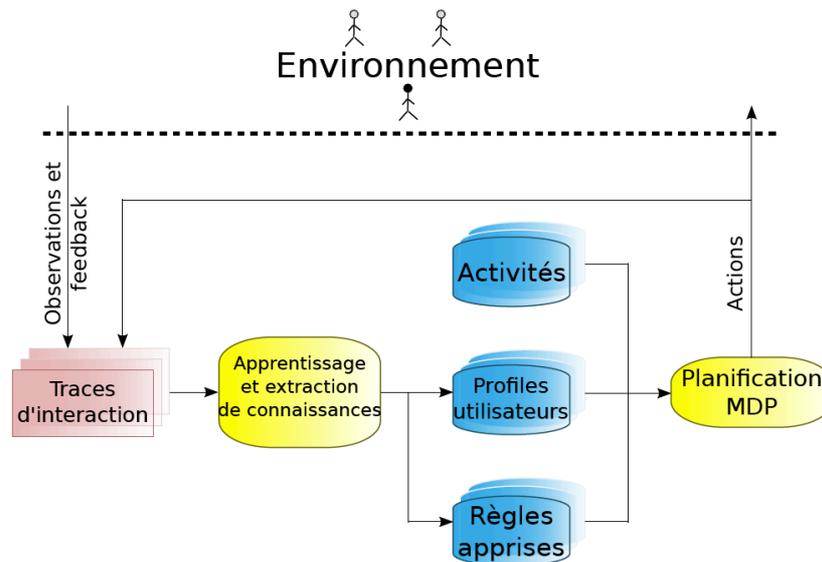


Figure 25 : Architecture générale du système adaptatif : extraction de connaissances d'adaptation (Karami, Sehaba, & Encelle, 2013)

La base d'activités contient toutes les activités que le système peut proposer à l'utilisateur. Chaque activité comporte un ensemble d'attributs \mathcal{A} où chaque attribut $a_i \in \mathcal{A}$ possède un domaine de définition. Par exemple, les paramètres du mini-jeu Discrimination (cf. section 2.3.5) sont considérés comme des attributs permettant de configurer le niveau de difficulté du jeu.

La base de profils contient des informations qui caractérisent les utilisateurs. Chaque utilisateur est représenté par un profil P tel que $P = \{p_1=v_1, p_2=v_2, \dots\}$, v_i étant la valeur de la propriété p_i . Les valeurs v_i possèdent des domaines de définition, par exemple : $\text{âge} = \{\text{enfant, adolescent, adulte}\}$, $\text{sexe} = \{\text{féminin, masculin}\}$, etc.

La base de traces contient l'historique des interactions entre les utilisateurs et le système. Une trace est une collection d'éléments observés (obsel) temporellement situés. Chaque obsel possède un type défini par le modèle de trace, une origine et un ensemble d'attributs/valeurs qui caractérisent l'évènement observé.

Les connaissances d'adaptation permettent au système de prendre des décisions adaptées au contexte d'usage. Cette connaissance est modélisée sous forme de règles. Les règles sont utilisées par le système afin de planifier des scénarios d'activités qui maximisent la satisfaction de l'utilisateur en prenant en compte l'état de l'environnement. Formellement, les règles sont représentées comme suit : $(c, a) = v$ où c est le contexte d'usage (état de l'environnement E + profil de l'utilisateur P), a est l'action du système et v dans $[-1, 1]$ est la satisfaction de l'utilisateur.

Dans les sections suivantes, nous présentons la formalisation de trace et de connaissance d'adaptation.

Trace d'interaction

Une trace contient l'historique des interactions entre un utilisateur et une activité proposée par le système. Formellement, une trace T est définie comme suit :

$$T = \langle id_t, id_{ac}, id_p, o_1, \dots, o_n \rangle \text{ où}$$

- id_t , id_{ac} et id_p sont les identifiants de la trace, de l'activité et du profil de l'utilisateur respectivement ;

- o_1, \dots, o_n est une séquence d'obsels, représentant l'état de l'environnement et les interactions entre l'utilisateur id_p et le système. Chaque obsel est défini comme : $o_i = \langle e, j, B_i \rangle$
 - e est le type de l'obsel ;
 - j est l'origine de l'obsel. Dans notre contexte, l'origine peut être l'utilisateur ($o_i \in O_u$), le système ($o_i \in O_s$) ou l'environnement ($o_i \in O_e$). O_u contient généralement les feedbacks de l'utilisateur sur les décisions du système (O_s) ;
 - B_i est un ensemble d'attributs relatifs à l'obsel.

Nous illustrons cette formalisation à travers un exemple simplifié d'une trace issue des interactions entre un robot compagnon, proposant l'activité « projeter une vidéo », et un utilisateur adulte de sexe masculin.

$T = \langle id_t, \text{« projeter une vidéo »}, (P = \{\text{âge} = \text{adulte}, \text{sexe} = \text{masculin}\}), o_{e1} = \{\text{lieu} = \text{chambre 1}\}, o_{e2} = \{\text{temps} = \text{soirée}\}, o_{e3} = \{\text{luminosité} = \text{faible}\}, o_{e4} = \{\text{bruit} = \text{faible}\}, o_{s1} = \{\text{aller au salon}\}, o_{e5} = \{\text{lieu} = \text{salon}\}, o_{s2} = \{\text{proposer un dessin animé}\}, o_{u1} = \{\text{non}, v = -1\}, o_{s3} = \{\text{proposer un film}\}, o_{u2} = \{\text{ooui}, v = 1\}, o_{u3} = \{\text{augmenter la luminosité}\}, o_{s4} = \{\text{régler luminosité à moyen}\}, o_{s4} = \{\text{fixer le son à faible}\} \dots \rangle$

Les observés de cette trace représentent :

- les observations de l'environnement telles que la luminosité, le lieu, le niveau de bruit... À partir de ces observations le système peut connaître l'état de l'environnement à tout moment.
- les actions du robot, par exemple *aller au salon, projeter un dessin animé...*
- les instructions de l'utilisateur et ses feedbacks positifs ou négatifs sur les actions du système.

Connaissance d'adaptation

Les connaissances d'adaptation expriment des généralités sur les habitudes et les préférences des utilisateurs. Elles sont modélisées sous forme de règles. Chaque règle indique le niveau de satisfaction des utilisateurs vis-à-vis d'une action du système dans un contexte particulier. Formellement, une règle d'adaptation R est formalisée comme suit :

$$R = \langle id_{ac}, C, a_i, f_i, v_i, TR, \rangle$$

- id_{ac} : l'identifiant de l'activité ;
- C : le contexte d'usage. Il est modélisé sous forme de contraintes sur les propriétés du profil C_p et de la situation d'interaction C_s . Ainsi, $C = \{C_p \cup C_s\}$.
- a_i : l'action du système ;
- f_i : le feedback de l'utilisateur concernant a_i . Ce feedback peut être positif, négatif ou neutre (aucun feedback);
- $v_i \in [-1, 1]$: la valeur du feedback ;
- TR : comporte l'ensemble des identifiants des traces qui ont provoqué la création ou la modification de cette règle d'adaptation. TR est utilisé par l'algorithme de généralisation (cf. section 3.3.3).

L'exemple suivant montre deux règles simplifiées exprimant les feedbacks potentiels des utilisateurs sur l'action *projeter une vidéo* par un robot compagnon.

$R_1 = \{(\text{activité} = \text{projeter une vidéo}), (C_p = \{\text{âge} = \text{adulte}, \text{sexe} = \text{masculin}\}), (C_s = \{\text{lieu} = \text{salon}, \text{temps} = \text{soirée}, \text{luminosité} = \text{faible}, \text{bruit} = \text{faible}\}), (a_1 = \text{proposer un dessin animé}), (f_1 = \text{non}, v_1 = -1), TR\}$

$R_2 = \{(\text{activité} = \text{projeter une vidéo}), (C_p = \{\text{âge} = \text{adulte}, \text{sexe} = \text{masculin}\}), (C_s = \{\text{lieu} = \text{salon}, \text{temps} = \text{soirée}, \text{luminosité} = \text{faible}, \text{bruit} = \text{faible}\}), (a_2 = \text{proposer un film}), (f_1 = \text{ooui}, v_2 = +1), TR\}$

Les deux règles R_1 et R_2 concernent le même contexte d'usage, à savoir un utilisateur adulte de sexe masculin dans un salon de faible luminosité et de faible bruit. Le feedback potentiel de l'utilisateur vis-à-vis de l'action *projeter un dessin animé* est négatif, alors qu'il est positif pour l'action *projeter un film*.

Il est souligné que le feedback de l'utilisateur peut être perçu selon plusieurs modalités : instructions de l'utilisateur, analyse de son expression faciale, etc.

3.3.3 Apprentissage des connaissances à partir des feedbacks de l'utilisateur

L'objectif du processus d'apprentissage est d'apprendre les préférences et les habitudes des utilisateurs. Pour cela, le système doit prédire le feedback potentiel d'un utilisateur de profil P dans une situation d'interaction C vis-à-vis de l'action a_i du système. Ainsi, le problème ici est d'extraire une connaissance d'adaptation $\langle id_{ac}, C, a_i, f_i, v_i, TR, \rangle$ à partir des traces $T = \langle id_t, id_{ac}, id_p, o_1, \dots, o_n \rangle$. Le principe d'extraction est le suivant :

- les attributs du profil et les obsels de la trace issus de l'observation de l'environnement sont utilisés pour compléter les contraintes du contexte d'usage de la règle ;
- a_i, f_i de la règle sont issus de deux obsels qui se suivent dont les origines sont le système et l'utilisateur respectivement ;
- l'identifiant de la trace id_t est ajouté dans l'ensemble TR ;
- v_i est la valeur du feedback de l'utilisateur.

Nous avons proposé deux algorithmes d'extraction de règles à partir de traces. Le premier est direct et certain (sans risque d'erreur) mais nécessite un nombre important de traces pour converger. Le deuxième, incertain mais plus rapide, consiste à généraliser les règles existantes afin de les appliquer à des nouveaux contextes. Pour les deux algorithmes, la mise à jour des connaissances est effectuée dès que le système reçoit une nouvelle trace.

```

1: INPUT  $\mathcal{K}, newTrace$ .
2: Output  $\mathcal{K}$ .
3:  $added = false, contradiction\_detected = false$ 
4: for all  $k \in \mathcal{K}_a$  do
5:   if ( $newTrace$  included in  $k$ ) then
6:     if ( $sameDirection(newTrace.value, k.value)$ ) then
7:        $k.value = average(newTrace.value, k.value)$ 
8:        $added = true$ 
9:     else
10:       $contradiction\_detected = true$ 
11: if ( $\neg added$  AND  $\neg contradiction\_detected$ ) then
12:   Add  $newTrace$  to  $\mathcal{K}_a$ 

```

Algorithme 5 : Algorithme d'apprentissage direct

L'Algorithme 5 montre le principe de fonctionnement de la méthode directe. Pour une nouvelle trace donnée ($newTrace$), l'ensemble des règles d'adaptation concernées par l'apprentissage est constitué de celles qui portent sur les mêmes types d'obsel que la trace. Ainsi, pour chaque règle R_i de cet ensemble et chaque obsel o_i portant sur le même type d'action :

1. Si le profil de l'utilisateur et la situation d'interaction de la trace respectent les contraintes du contexte C de R_i , alors :
 - a. Si la valeur du feedback de l'obsel o_i et la valeur v_i de la règle R_i sont dans la même direction (les deux sont positives ou négatives), alors on affecte à la valeur v_i la moyenne des deux valeurs.
 - b. Si les deux valeurs sont de signes différents (une positive et l'autre négative), c'est-à-dire que le feedback de l'utilisateur est en contradiction avec la règle R_i , la nouvelle trace et la règle R_i seront marquées. L'ensemble des règles marquées est alors

présenté à l'expert (ou au concepteur) afin de détecter les raisons de la contradiction. L'origine de cette dernière peut être le manque d'attributs dans la représentation du contexte d'usage.

2. Si la nouvelle trace contient un nouveau contexte d'usage, n'appartenant à aucune des règles existantes, alors la nouvelle trace est ajoutée comme une nouvelle règle d'adaptation.

Le principe du deuxième algorithme (cf. algorithme 6) est de généraliser les règles existantes afin de les appliquer à des nouveaux contextes jusqu'alors inconnus du système. L'idée est de détecter pour chaque action a_i , l'ensemble des attributs importants relatifs au contexte d'usage, c'est-à-dire ceux dont les valeurs affectent le feedback de l'utilisateur. Les attributs non importants seront généralisés à * (n'importe quelle valeur) dans la règle.

```

1: INPUT  $\mathcal{K}$ ,  $newTrace$ ,  $backupTraces$ .
2: Output  $\mathcal{K}$ ,  $\mathcal{AT}_a$ .
3: for all  $k \in \mathcal{K}_a$  do
4:   if ( $newTrace$  included in  $k$ ) then
5:     if ( $\neg sameDirection(newTrace.value, k.value)$  OR
6:         ( $sameDirection(newTrace.value, k.value)$  AND
7:          $|newTrace.value - k.value| > \epsilon$ )) then
8:       Set  $relatedBackup$  as all traces related to  $k$  and in the same direction.
9:       for all  $r \in relatedBackup$  do
10:        for all  $at \in \mathcal{AT}$  do
11:          if ( $k.at = *$  AND  $r.at \neq newTrace.at$  AND  $at \notin \mathcal{AT}_a$ ) then
12:             $\mathcal{AT}_a = \mathcal{AT}_a \cup at$ 
13: for all  $k \in \mathcal{K}_a$  do
14:   Generalize unimportant attributes in  $k$ .
15:   Specialize important attributes in  $k$  from  $backupTraces$ 
16:    $k.value = fct(newTrace.value, k.value)$ 
17: for all  $at \in \mathcal{AT}_a$  do
18:   if ( $\neg ConfirmedImportant(at)$ ) then
19:      $\mathcal{AT}_a = \mathcal{AT}_a - at$ .
20: if  $ChangeInImportantAttributes$  then
21:   repeat lines

```

Algorithme 6 : Apprentissage par généralisation

Initialement, à partir d'une nouvelle trace, l'ensemble des attributs importants pour chaque action est vide, donc toutes les valeurs des attributs sont à * et la valeur de la règle est égale à la valeur du feedback dans la trace. Ensuite, l'algorithme examine s'il existe une contradiction entre la nouvelle trace et les différentes règles k dans \mathcal{K} . Une contradiction concerne une situation avec deux valeurs différentes (une positive et l'autre négative) ou trop éloignées (la valeur absolue de leur différence est supérieure à un seuil donné). Les contradictions sont traitées pour extraire les attributs importants liés à une action.

3.3.4 Expérimentations et résultats

Afin de valider nos contributions, nous avons mené trois expérimentations. La première est basée sur des données simulées. Le deuxième, conduite avec 25 participants, porte sur une application de sélection de menu de repas pour des utilisateurs de profils différents. La troisième, avec 24 participants, a concerné un robot compagnon adaptatif qui propose des activités ludiques au sein des foyers.

Dans ces expérimentations, la génération d'activités est basée sur un Processus de Décision Markovien (PDM) (Karami, Sehaba, & Encelle, 2013). Les règles d'adaptation ont été intégrées dans les fonctions de récompense du PDM afin de permettre une génération d'activités adaptées au

contexte d'usage. Dans cette section, nous présentons une synthèse des deux dernières expérimentations, la première est détaillée dans (Karami, Sehaba, & Encelle, 2014). Pour la deuxième expérimentation, nous nous concentrons sur l'évaluation de l'algorithme direct. L'algorithme de généralisation est évalué dans la troisième expérimentation.

Sélection de menu

Le scénario que nous avons considéré est la sélection de menu dans un restaurant. En fonction du profil de l'utilisateur et de ses spécificités, il s'agit de lui proposer un menu adapté, de collecter les traces d'interaction contenant ses feedbacks, puis d'extraire des connaissances d'adaptation à partir de celles-ci. Les attributs du profil sont : le sexe (homme, femme), végétarien (oui, non) et diabétique (oui, non). La situation d'interaction est caractérisée par le moment du repas (midi, soir) et la saison (hiver, été).

Cette expérimentation a mobilisé 25 sujets adultes (14 hommes, 11 femmes). Comme il est difficile d'avoir des sujets diabétiques et végétariens, chacun des sujets a effectué 5 fois l'expérimentation : une avec son profil réel, les autres en tant que végétarien et diabétique, non végétarien et non diabétique, non végétarien et diabétique, puis végétarien et non diabétique. Les valeurs des attributs de la situation ont été tirées au hasard. Ces situations ont été distribuées de manière égale en fonction du sexe de l'utilisateur (autant d'hommes que de femmes).

Figure 26 : Interface de sélection de menu

Nous avons développé une interface (cf. Figure 26) permettant aux utilisateurs d'introduire leurs profils et de réagir, par des feedbacks positifs ou négatifs, aux propositions du système. Ces propositions, présentées sous forme de questions, sont générées par un PDM de manière séquentielle pour déterminer le choix de l'utilisateur.

Chaque expérience a duré entre 5 à 10 minutes dans laquelle une trace est générée. Nous avons ainsi généré 125 traces, chacune contenant entre 8 et 10 obsels. Ces traces ont été analysées en utilisant nos deux algorithmes d'apprentissage. Parmi les règles qui ont été générées, on a : un végétarien ne mange jamais de viande, un diabétique ne mange jamais de gâteau, etc. Les résultats sont détaillés dans (Karami, Sehaba, & Encelle, 2013).

Projet Robot Populi

La deuxième expérimentation a été menée avec un robot compagnon dans le cadre du projet Robot Populi. Ce robot est capable de reconnaître l'utilisateur, de lui proposer des activités adaptées à son contexte d'usage et de recevoir ses feedbacks à travers le mouvement de ses mains.

Les activités qui peuvent être proposées par ce robot sont : appeler quelqu'un, regarder la télévision, jouer de la musique, afficher son agenda, écouter les informations, afficher les prévisions météo, commander un repas, jouer à un jeu, afficher des recettes de cuisine. Ces activités sont projetées à l'aide d'un pico-projecteur comme le montre la Figure 27.



Figure 27 : Activités du Robot Populi

Les attributs de la situation portent sur le lieu (cuisine, salon, bureau, chambre, salle de bain) et le temps (matin, midi, après-midi, soir, nuit). Quant au profil, il est caractérisé par les habitudes et les préférences des utilisateurs par rapport aux différentes activités du robot.

L'expérimentation a suivi deux phases successives. La première porte sur l'apprentissage des règles d'adaptation à partir de traces. Le deuxième concerne la génération des activités adaptées au contexte d'usage en se basant sur un PDM qui utilise les connaissances d'adaptation apprises durant la première phase. Pour ces deux phases, les participants ont renseigné leurs profils avant l'expérimentation selon un questionnaire qui leur a été soumis.

La première expérimentation a mobilisé 17 participants avec des profils différents. Pour chaque expérience, le robot a identifié l'utilisateur, le lieu et le temps, puis il a invité l'utilisateur à sélectionner les activités qu'il souhaite (ou ne souhaite pas) effectuer dans telle situation. Pour chaque expérience, une trace a été créée où le feedback est -1 pour les activités négatives et +1 pour les activités positives. Ainsi, 89 traces ont été collectées durant cette première phase contenant 1958 obsels. Toutes ces traces ont été utilisées par l'algorithme de généralisation afin d'extraire des règles d'adaptation.

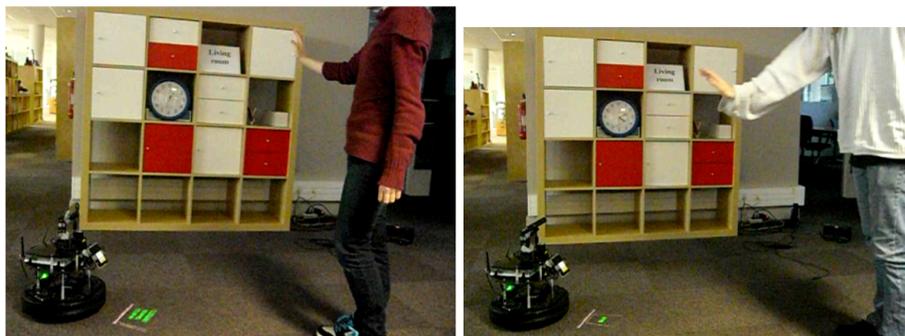


Figure 28 : Expérimentation avec Robot Populi

16 participants dont 9 de la première phase et 7 nouveaux ont participé à la deuxième phase. Pour chaque expérience de la deuxième phase, le robot a identifié l'utilisateur et la situation d'interaction, puis il a utilisé une politique PDM pour personnaliser les activités qu'il propose à l'utilisateur. Si l'utilisateur accepte les activités proposées, l'expérience est terminée. Sinon, le robot lui propose au maximum deux autres propositions.

Durant la deuxième phase, 66 traces ont été générées. Parmi ces traces on compte 52 feedbacks positifs et 14 négatifs. Les feedbacks négatifs s'expliquent par un manque d'expériences vécues. En effet, avec un nombre plus important de traces collectées durant la première phase, le robot aurait appris à s'adapter à tous les contextes comme il a été démontré dans l'expérimentation par simulation (Karami, Sehaba, & Encelle, 2014) (Karami, Sehaba, & Encelle, 2013)

Afin de mieux analyser les retours des utilisateurs, nous avons demandé aux participants de répondre à un questionnaire de 19 questions de satisfaction à l'égard du comportement du robot. Le Tableau 13 montre une partie de ce questionnaire. La plupart des utilisateurs sont d'accord avec l'idée d'ajouter de nouvelles modalités de communication avec le robot. Ils ont en effet trouvé difficile et fatigant d'interagir uniquement de manière gestuelle. Cependant, la plupart des participants étaient satisfaits des activités proposées qu'ils les trouvaient pertinentes et adaptées à leurs préférences.

Pensez-vous que la façon de communiquer avec le robot est facile ?				
Pas du tout d'accord (0)	Pas d'accord(9)	Ni en désaccord in d'accord (4)	D'accord (3)	Tout à fait d'accord (0)
Pensez vous que d'autres façon de communication avec le robot sont nécessaires (eg. parole, émotion faciale ...) ?				
Pas du tout d'accord (1)	Pas d'accord(0)	Ni en désaccord in d'accord (0)	D'accord (4)	Tout à fait d'accord(11)
Pensez-vous que les activités proposées vous ont satisfait ?				
Pas du tout d'accord (0)	Pas d'accord (3)	Ni en désaccord in d'accord (4)	D'accord (9)	Tout à fait d'accord (0)
Selon vous, est-ce que les premières activités proposées par EMOX vous ont convenu ?				
Pas du tout d'accord (0)	Pas d'accord(1)	Ni en désaccord in d'accord (5)	D'accord (9)	Tout à fait d'accord (1)
Pensez-vous qu'EMOX est capable de s'adapter à vos préférences ?				
Pas du tout d'accord (0)	Pas d'accord (0)	Ni en désaccord in d'accord (3)	D'accord (12)	Tout à fait d'accord (1)
Pensez-vous qu'EMOX vous a proposé, dans l'ensemble, des activités pertinentes ?				
Pas du tout d'accord (0)	Pas d'accord(0)	Ni en désaccord in d'accord (3)	D'accord (12)	Tout à fait d'accord (1)
Pensez-vous qu'EMOX arrive à vous satisfaire qu'après avoir proposé plusieurs activités ?				
Pas du tout d'accord (0)	Pas d'accord(1)	Ni en désaccord in d'accord(2)	D'accord(11)	Tout à fait d'accord(2)
Pensez-vous qu'EMOX manque d'information sur vous même ou sur l'environnement afin de mieux s'adapter ?				
Pas du tout d'accord (0)	Pas d'accord(2)	Ni en désaccord in d'accord (2)	D'accord (6)	Tout à fait d'accord(6)

Tableau 13 : Questionnaire post-expérimentation

3.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté nos travaux relatifs à l'extraction de connaissances à partir de traces. Plus précisément, nous avons montré comment mettre à jour les connaissances du domaine et le profil de l'utilisateur dans l'architecture GOALS. Ainsi, la mise à jour des connaissances du domaine consiste à ajouter/supprimer/modifier des concepts et/ou des relations entre concepts de la première couche. Le profil de l'utilisateur est actualisé en modifiant les valeurs des différents attributs (correspondant aux concepts du domaine) en se basant sur les performances de l'utilisateur sur des ressources de type test (exercices, problèmes, qcm, etc.).

Ces contributions ont été développées dans le cadre de la plate-forme GOALS, puis testées dans le cadre du projet CLES sur des données simulées.

La deuxième partie de ce chapitre était consacrée à l'extraction de connaissances d'adaptation à partir des feedbacks des utilisateurs. Le processus d'extraction est basé ici sur deux méthodes. La première, utilisant un algorithme simple et direct, nécessite un nombre relativement important pour converger. La deuxième, basée sur un algorithme de généralisation, nécessite un nombre moins important de données pour extraire de nouvelles connaissances.

Ce travail a été développé et appliqué dans le projet Robot Populi. Ce dernier porte sur un robot compagnon adaptatif qui propose des activités adaptées au sein des foyers. Afin de valider nos modèles, nous avons effectué trois expérimentations. La première basée sur une simulation (Karami, Sehaba, & Encelle, 2014). La deuxième porte sur la sélection de menus et a impliqué 25 participants. La troisième concerne le projet Robot Populi et a mobilisé 24 participants.

Chapitre 4 : Analyse du comportement de l'utilisateur à partir de traces

4.1 Introduction

Dans le cadre des EIAH, l'analyse du comportement de l'utilisateur revêt un intérêt particulier puisqu'elle permet, notamment, d'aider les enseignants à définir des situations pédagogiques adaptées aux usages observés. À la différence des techniques d'extraction de connaissances (présentées dans le chapitre précédent) permettant au système de s'adapter automatiquement aux différents contextes d'usage, l'objectif de l'analyse du comportement est d'assister :

- l'apprenant dans la compréhension de sa propre activité (réflexivité), et
- le formateur, ou l'expert, dans la compréhension de l'activité de ses apprenants.

Le tableau ci-après décrit notre positionnement par rapport à l'espace de conception de l'adaptation présenté dans le premier chapitre (page 33).

Quoi adapter ?	Connaissances du domaine	Connaissances adaptation	Profil de l'utilisateur
Pourquoi adapter ?	S'adapter aux différentes situations rencontrées dans la pratique		
Qui adapte ?	Concepteur/expert		
Quand adapter ?	Adaptation après l'exécution du système		
À quoi s'adapter ?	Utilisateur		
Comment adapter ?	Transformation de traces d'interaction		

Tableau 14 : Positionnement de notre approche d'analyse du comportement

Nos travaux portent sur une analyse fondée sur les traces d'interaction. Il s'agit de transformer les traces de bas niveau, collectées à partir des actions de l'utilisateur sur l'environnement d'apprentissage, afin d'extraire des informations traduisant des comportements de haut niveau. Dans ce chapitre, nous commençons par présenter le contexte de nos travaux sur l'analyse du comportement. Ensuite, nous détaillons nos contributions d'analyse à base de traces d'interaction. Il s'agit de présenter les modèles de traces et de transformations que nous proposons ainsi que la plate-forme D3KODE (Define, Discover, and Disseminate Knowledge from Observation to Develop Expertise). Cette dernière permet de stocker, transformer et visualiser de manière interactive les traces d'interaction.

Par la suite, nous exposons deux applications. La première porte sur l'analyse des activités des opérateurs stagiaires de conduite de centrale nucléaire sur simulateur pleine échelle. Le but de cette analyse est d'assister les formateurs à mieux comprendre et analyser les réalisations des opérateurs durant la phase de simulation, et ainsi préparer la phase de débriefing. Ce travail a été conduit en partenariat avec l'Unité de Formation Production Ingénierie d'EDF. La deuxième application concerne l'analyse de l'engagement des utilisateurs dans les jeux. L'objectif ici est de développer une approche permettant aux concepteurs d'identifier et de qualifier l'engagement des utilisateurs afin de rendre compte de la motivation, l'acceptation ou l'attachement en direction de l'activité médiée. Cette qualification pourra servir de guide pour analyser, valider et modifier l'environnement du jeu et ses connaissances.

Pour les deux projets, nous présentons nos contributions théoriques, puis nous détaillons les expérimentations que nous avons menées avec des experts pour les valider. Ces expérimentations ont suivi des protocoles d'évaluation basés sur une méthode comparative.

4.2 Contexte et positionnement scientifique

La notion de *comportement* s'est d'abord confondue avec le *behaviorisme* qui ne considère que les comportements dits basiques en réponse à une stimulation de l'environnement. La notion de comportement ici se réduit aux activités observables, ce qui peut exclure les états internes de l'individu tels que la conscience, la pensée, les sentiments, etc. Avec l'apparition du *cognitivism*, la conception stimulus-réponse a été remplacée par des représentations qui prennent en compte des variables internes de l'individu, telles que le stress ou la fatigue, qui peuvent avoir des répercussions sur son comportement.

Les deux conceptions stipulent que le comportement est observable, et qu'il existe un lien fort entre le comportement et les stimuli, qu'il s'agisse des stimuli issus de l'environnement ou d'un processus interne de l'individu. Néanmoins, elles ne soulèvent pas le problème des unités pertinentes à observer. En effet, on devrait définir le niveau d'observation et d'analyse dans lequel on se place. Ce niveau d'observation pourrait aller de l'unité segmentaire de l'analyse de mouvement à l'acte guidé par une finalité (Sehaba, 2005).

Dans un contexte d'observation et d'analyse du comportement de l'utilisateur vis-à-vis d'un environnement informatique, nous considérons le comportement comme un ensemble de réactions observables en réponse aux stimulations des objets d'intérêt de l'application. L'identification de ce comportement est le résultat de l'analyse des actions de l'utilisateur, à différents niveaux d'abstraction, inscrit dans un processus d'interprétation. Formellement, un comportement est défini comme une chaîne d'actions effectuées sur un environnement informatique. Une chaîne d'actions est une agrégation d'actions sélectionnées selon des contraintes structurelles, d'enchaînement et/ou temporelles (Bouvier, Sehaba, Lavoué, & George, 2013).

Notre approche d'analyse du comportement de l'utilisateur s'inscrit dans la ligne des travaux sur les traces d'interaction développés par l'équipe SILEX (Settoui, 2011) (Cram, 2010) (Champin, Mille, & Prié, 2013). Toute activité de l'utilisateur médiée par un environnement informatique peut laisser des traces numériques. Ces traces sont une source potentielle de connaissances qui peut être mobilisée pour assister l'utilisateur (réflexivité (Clauzel, Sehaba, & Prié, 2011)), analyser son comportement (Champalle, 2014 ; Bouvier, Sehaba, & Lavoué, 2014) ou partager son expérience (Sehaba, 2011 ; Sehaba, 2012). En général, une trace est définie comme un historique des actions de l'utilisateur collectées en temps réel à partir de son interaction avec l'application informatique, et constitue de ce fait une représentation de son activité (Clauzel, Sehaba, & Prié, 2009).

Formellement, une trace est un ensemble d'éléments observés temporellement situés. On appelle élément observé, noté *obsel*, toute information structurée issue d'une observation. Dans notre cadre de recherche, les observés sont générés à partir de l'observation des interactions entre l'utilisateur et l'environnement informatique. Chaque observé possède un type, défini par le *modèle de trace*, et peut être en relation avec d'autres observés de la même trace. Formellement, un observé possède un sujet, l'utilisateur tracé durant la phase de collecte, et est composé, en fonction de son type, d'un ensemble d'attributs/valeurs qui caractérise l'évènement observé.

Un modèle de trace est une interprétation d'une observation permettant à un système d'inférence d'établir la validité (ou la non validité) de propositions concernant le domaine décrit par les propositions (Champin, Mille, & Prié, 2013). Formellement, le modèle de trace définit les types d'observés et les types de relations qui composent la trace. Le modèle de trace donne aussi le domaine temporel de la trace, c'est-à-dire l'extension temporelle possible des obsels : représentation séquentielle, temps absolu ou relatif, unité de temps, etc. On appelle trace modélisée, notée *m-trace*, toute trace issue d'un processus de collecte, composé d'observés situés, et conforme à un modèle de trace.

Afin de faciliter la gestion et l'exploitation des traces, des systèmes de gestion de base de traces modélisées (SGBTm) ont été développés (SGBT) (Settoui, 2011) (Laflaquière, 2009). Selon

(Champin, Mille, & Prié, 2013), un SGBTm est un outil permettant la manipulation et la transformation de traces modélisées, explicitant à tous niveaux les décisions prises sous la forme de lignées de traces et constituant un système assistant l'interprétation de celles-ci. Un SGBTm est un système qui permet le stockage, la transformation et la visualisation des traces modélisées.

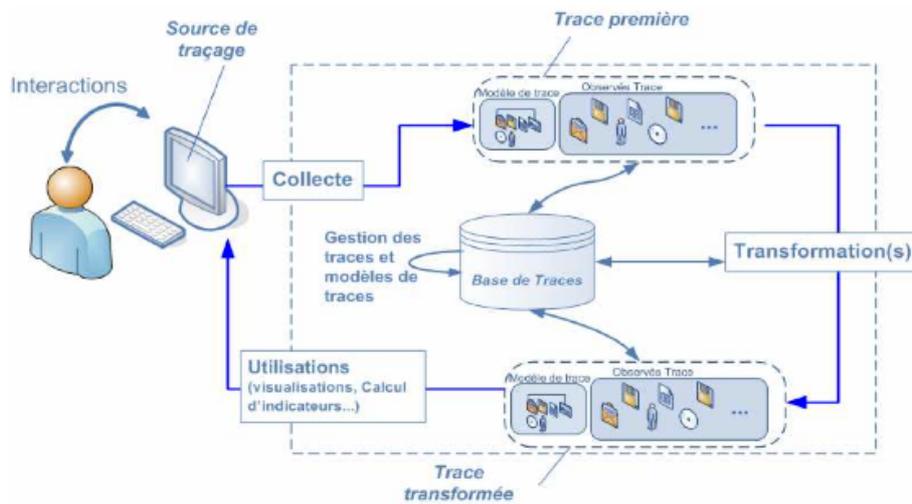


Figure 29 : Système de gestion de base de traces modélisées (Settouti, 2011)

Comme le montre la Figure 29, durant la phase de collecte, le SGBTm récupère les événements fournis par des *sources de traçage* et les représente dans une trace première. Cette dernière est issue directement du système de collecte. Il s'agit souvent de données brutes issues des logs, capteur logiciel, keylogger, etc. Cette collecte peut être effectuée d'une manière synchrone, durant l'interaction avec l'utilisateur, ou après l'interaction.

Généralement, les traces premières sont difficilement exploitables en raison de leur quantité et de leur qualité. En effet, en plus du fait que les observations de la trace première sont exprimées dans le vocabulaire des instruments de collecte, ce type de traces contient un grand nombre d'informations parfois inutiles et des filtrages sont nécessaires pour pouvoir les exploiter. Également, les informations de ces traces sont de très bas niveau, donc souvent difficiles à comprendre. C'est pourquoi le SGBT propose des mécanismes de transformation permettant de générer des traces de haut niveau à partir des traces premières. Les transformations sont basées sur un processus d'interprétation qui consiste à reformuler les séquences des éléments brutes en séquence d'éléments ayant un sens pour l'activité observée (Champin, Mille, & Prié, 2013). Ainsi, les transformations permettent de réécrire une trace de modèle A en une nouvelle trace selon un modèle B. Parmi les transformations possibles, on trouve la reformulation, le filtrage et la fusion de traces (Settouti, 2011).

Le SGBTm permet également la visualisation des traces pour que l'utilisateur puisse interagir avec. Cette visualisation peut être en temps réel (pour l'apprentissage réflexif (Clauzel, Sehaba, & Prié, 2011) par exemple) ou a posteriori (dans le but du débriefing ou de retour d'expériences (Champalle, Sehaba, & Mille, 2013) par exemple).

4.3 Analyse du comportement à base de traces d'interaction

4.3.1 Modèles de trace et de transformation

Comme le montre le diagramme de classe de la Figure 30, une trace est caractérisée par un identifiant unique, des dates de début et de fin de la session d'interaction tracée, des méta-données qui décrivent, entre autres, le contexte applicatif de la trace, et un ensemble d'obsels. Les obsels sont également temporellement situés à travers les attributs *date début* et *date fin* et contiennent un identifiant unique, un label qui décrit l'évènement observé ainsi que son sujet générateur. Ce dernier peut être l'utilisateur ou l'environnement informatique.

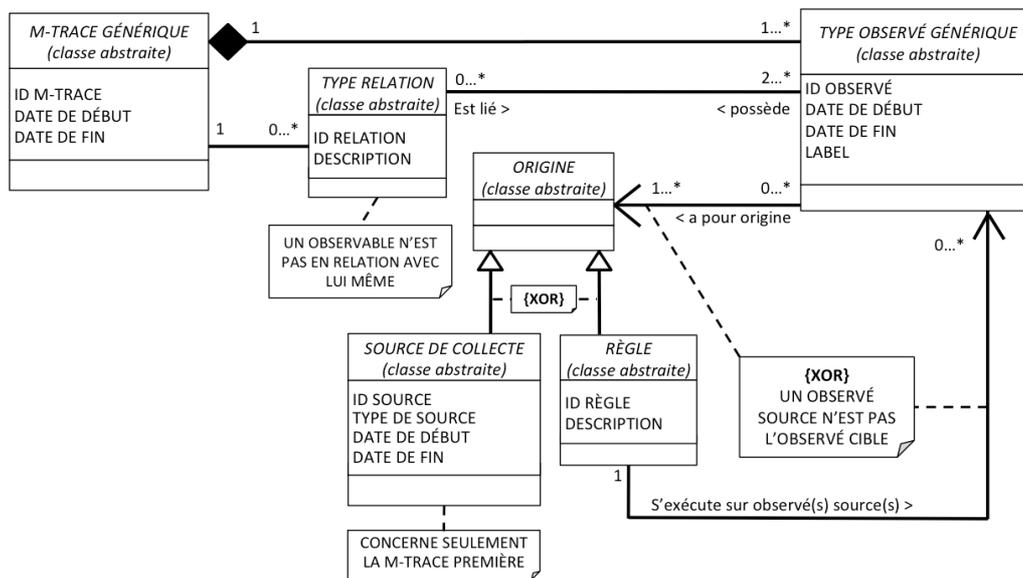


Figure 30 : Modèle générique de trace

Afin de permettre à l'analyste d'explorer les différents niveaux de traces, chaque observé possède un lien vers son origine. L'origine peut être une règle de transformation ou des données collectées par les sources de traçage s'il s'agit de la trace première.

Comme le montre le diagramme de classe de la Figure 31, les transformations sont définies comme un ensemble de règles de la forme *si condition alors construction*. La partie *condition* exprime des contraintes sur les éléments de la trace d'origine tels que le type d'observé, le type de relation, les valeurs des attributs. La partie *construction* définit les observés et les relations de la trace transformée de plus haut niveau si toutes les contraintes de la partie condition sont satisfaites. Une règle peut faire appel, tant dans sa partie condition que dans sa partie construction, à des opérateurs arithmétiques, booléens et/ou de comparaison afin d'exprimer des contraintes sur les valeurs des attributs des observés sources (partie condition) ou d'initialiser les valeurs des attributs des observés cibles (partie construction).

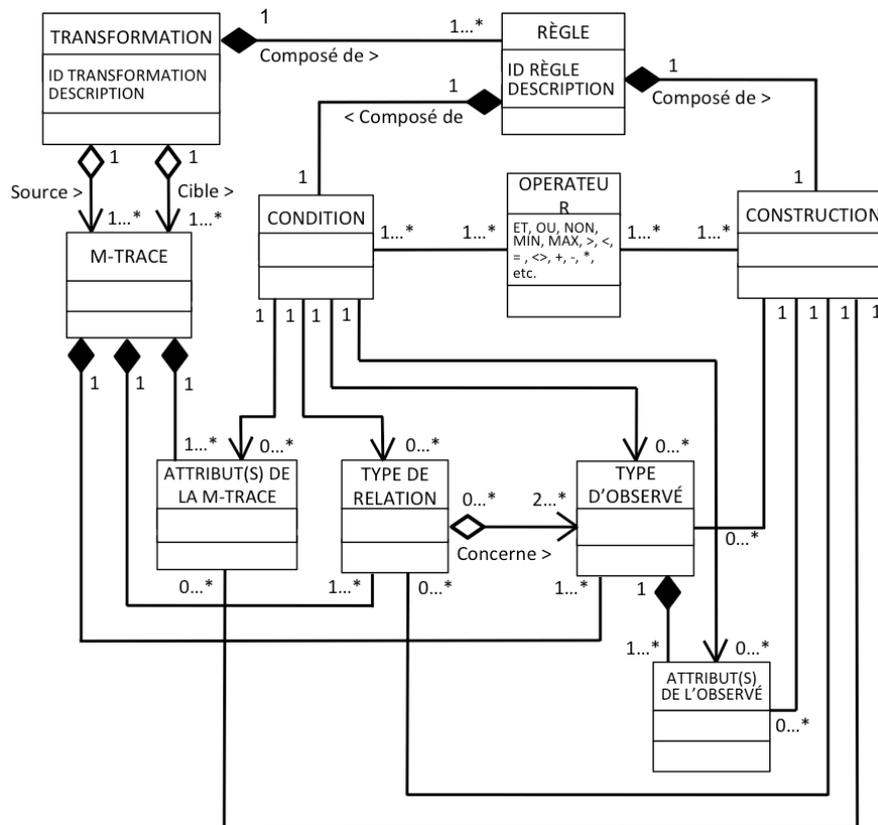


Figure 31 : Modèle générique de transformation (Champalle, 2014)

4.3.2 Plate-forme D3KODE

D3KODE comme « Define, Discover, and Disseminate Knowledge from Observation to Develop Expertise » est une plate-forme développée par Dino COSMAS (Champalle & Dino, 2013) dans le cadre de la thèse d'Olivier Champalle (Champalle, 2014). Cette plate-forme permet le stockage et la transformation des traces selon les modèles présentés ci-avant. La plate-forme offre également la possibilité à l'utilisateur de visualiser les différents niveaux de traces. Ainsi, pour chaque observé de haut niveau, il est possible d'explorer ses origines jusqu'aux sources de collecte. Techniquement, les traces et leurs modèles sont stockés dans le kTBS¹⁸ (kernel for Trace Base System) et les règles de transformation sont codées dans le langage SPARQL1.1.

L'utilisation de D3KODE passe par quatre étapes : configuration des connaissances, injection des données, exécution des règles de transformation et visualisation des traces. La première phase consiste à créer les modèles de trace et les règles de transformation à travers une interface de type WYSIWYG. Cette interface permet à l'utilisateur de manipuler les méta-données de la trace, les types d'obsels ainsi que les parties condition et construction des règles de transformation.

Une fois les modèles créés, les données de la trace première peuvent être injectées via un fichier csv. Ce dernier doit être organisé selon un protocole spécifié. Ce prétraitement est nécessaire pour que la plate-forme puisse décoder les informations du fichier.

L'exécution des règles de transformation génère des traces de haut niveau à partir des traces premières. Pour cela, D3KODE parcourt l'ensemble des règles de transformation, introduites durant la phase de configuration, afin de déterminer celles dont la partie condition est conforme avec les

¹⁸ <http://kernel-for-trace-based-systems.readthedocs.org/en/latest/>

observés de la trace source. Ces règles sont ensuite exécutées afin de générer les observés de la trace transformée.

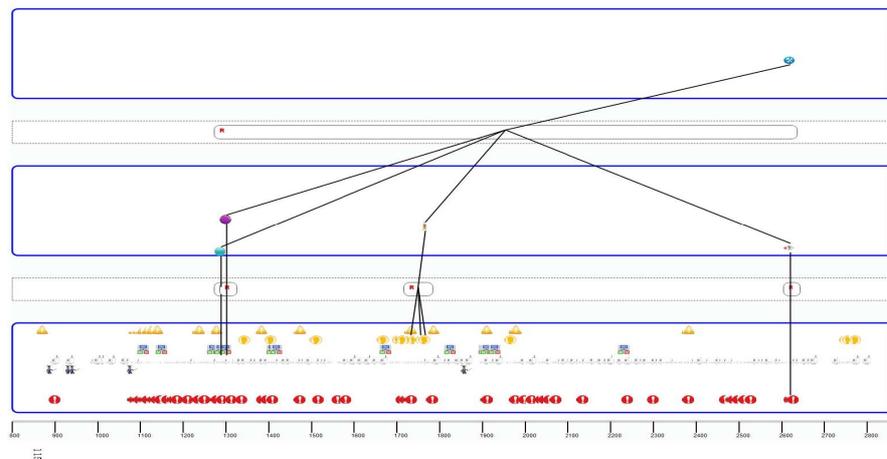


Figure 32 : D3KODE - Visualisation graphique des traces

La visualisation de trace peut se faire dans deux dimensions (cf. Figure 32) : horizontale et verticale. Dans la dimension horizontale, les observés de la trace sont visualisés par rapport à leur apparition dans le temps. Pour chacun de ces observés, l'utilisateur peut à tout moment afficher les valeurs de ses attributs. La dimension verticale met en évidence les relations entre chaque observé et ses observés origines.

4.4 Analyse des activités d'apprentissage

4.4.1 Contexte et objectif de recherche

Dans le cadre des EIAH, l'analyse des activités individuelles et collectives des apprenants est une tâche particulièrement complexe et dense pour les tuteurs. Dans certains cas, la quantité de données collectées par ces outils est si importante qu'il est pratiquement impossible de les analyser manuellement. Également, dans certains environnements d'apprentissage, ces données, de natures hétérogènes (vidéo, son, logs, etc.), sont stockées dans des fichiers différents et ne partagent pas la même ligne de temps. Ceci nécessite un travail de synchronisation parfois difficile et coûteux.

L'objectif de notre travail est de proposer des modèles et des outils qui assistent le formateur dans son travail d'analyse des activités des apprenants. Les enjeux de cette assistance peuvent être la préparation d'une séance de débriefing, l'adaptation de l'environnement aux apprenants, la visualisation réflexive des traces de haut niveau afin d'aider l'apprenant à analyser ses propres réalisations, etc. Notre approche est basée sur la représentation et la transformation des traces d'interaction.

Nos travaux ont été appliqués dans le cadre d'un projet en partenariat avec EDF, plus précisément avec l'UFPI (Unité de Formation Production Ingénierie). Cette unité forme des opérateurs de conduite de centrales nucléaires à travers des séances de simulation sur simulateurs pleine échelle. Ces simulateurs disposent d'une salle de commande réplique intégrale à l'échelle 1 de celles des centrales nucléaires. Le procédé industriel est, quant à lui, entièrement simulé.

Durant la séance de simulation, les formateurs ont la charge de piloter le simulateur et en même temps d'observer, par différents moyens (caméra, fichiers logs...), les réalisations des stagiaires afin de remplir les *grilles d'observation* pour préparer le débriefing. Les grilles d'observation contiennent un

ensemble d'attendus auxquels les stagiaires doivent pouvoir satisfaire. La tâche des stagiaires consiste à réaliser le *transitoire*. Il s'agit de faire passer le simulateur d'un état physique initial à un état final. Pour cela, les stagiaires doivent conduire l'installation selon des *attendus* organisés en familles d'objectifs pédagogiques.

Une session de simulation comporte plusieurs phases parmi lesquelles on trouve : l'accueil et briefing des stagiaires, la réalisation du transitoire par les opérateurs stagiaires, l'analyse de la séance de simulation par les formateurs et le débriefing de la séance.

Dans ce cadre, le principal objectif de notre travail est la mise en place d'un outil d'observation et d'analyse de l'activité des stagiaires afin d'assister les formateurs dans la phase de préparation du débriefing.

4.4.2 Modèle de trace et de transformation

Afin de limiter la surcharge cognitive inhérente aux différentes tâches du formateur, les simulateurs de centrales nucléaires disposent de plusieurs outils de collecte tels que les journaux de bord, la vidéo ou la téléphonie. Les données issues de ces outils sont utilisées par les formateurs, lors de la phase de préparation du débriefing, afin d'analyser le déroulement de la séance et ainsi identifier les difficultés rencontrées par les opérateurs. Néanmoins, vu la quantité des données collectées, il est difficile de les exploiter manuellement durant cette phase. A titre d'exemple, une séance de simulation d'une heure peut générer plus de 5000 événements tracés.

L'objectif de notre travail est d'apporter aux formateurs une aide à l'observation et à l'analyse des activités des stagiaires. Plus précisément, il s'agit d'assister le formateur dans les phases de préparation et de conduite du débriefing. La Figure 33 montre le modèle de trace, issu du modèle générique de la Figure 30, dédié à cette assistance.

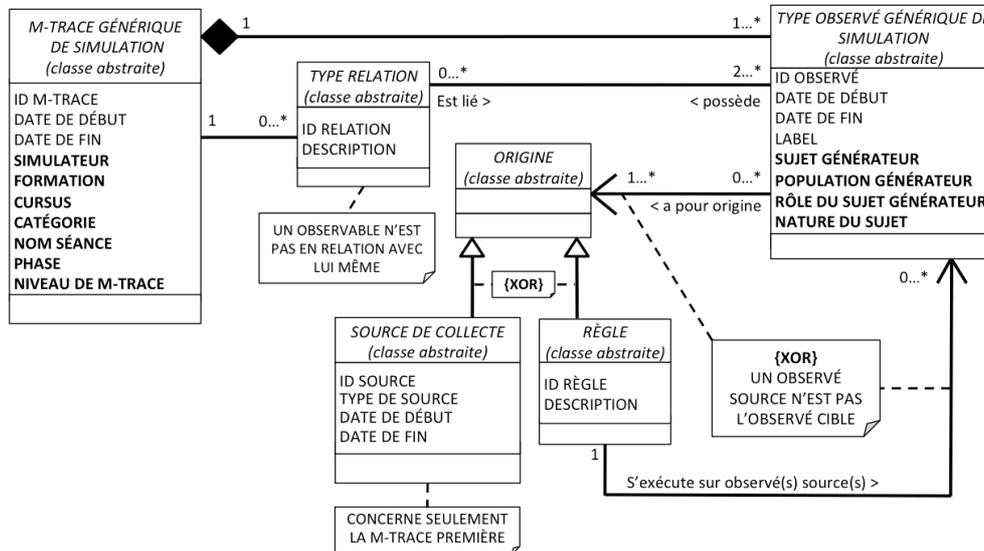


Figure 33 : Modèle de trace dédié à l'observation et à l'analyse des activités des stagiaires sur simulateur plein échelle (Champalle, 2014)

Le processus d'analyse repose sur trois niveaux d'abstraction :

- La m-trace *première* dont les observés sont issus des données collectées par les sources de traçage du simulateur telles que les journaux de bord ou les annotations vidéo et son ;
- La m-trace des *objectifs pédagogiques spécifiés* dont les observés représentent les attendus que le(s) stagiaire(s) doi(ven)t valider tels que l'acquiescement d'une alarme ou le réglage des pressions ;

- La m-trace des *familles d'objectifs pédagogiques spécifiés* est composée d'observés de hauts niveaux propres au scénario de la simulation. Ces types d'observés sont validés si les objectifs pédagogiques spécifiés correspondants ont été réalisés par les stagiaires. Par exemple, l'observé famille d'objectifs pédagogiques spécifiés « Surveillance » englobe tous les observés pédagogiques spécifiés liés à l'acquiescement d'alarmes et à la surveillance des paramètres de la centrale.
- La m-trace *famille d'objectifs pédagogiques* dont les observés correspondent aux objectifs généraux de la formation tels que « connaître et surveiller l'installation » ou « assurer la continuité de service ».

Chacune de ces m-traces représente un niveau d'abstraction correspondant au déroulement des sessions de simulation et aux différentes granularités d'observations attendues par les formateurs.

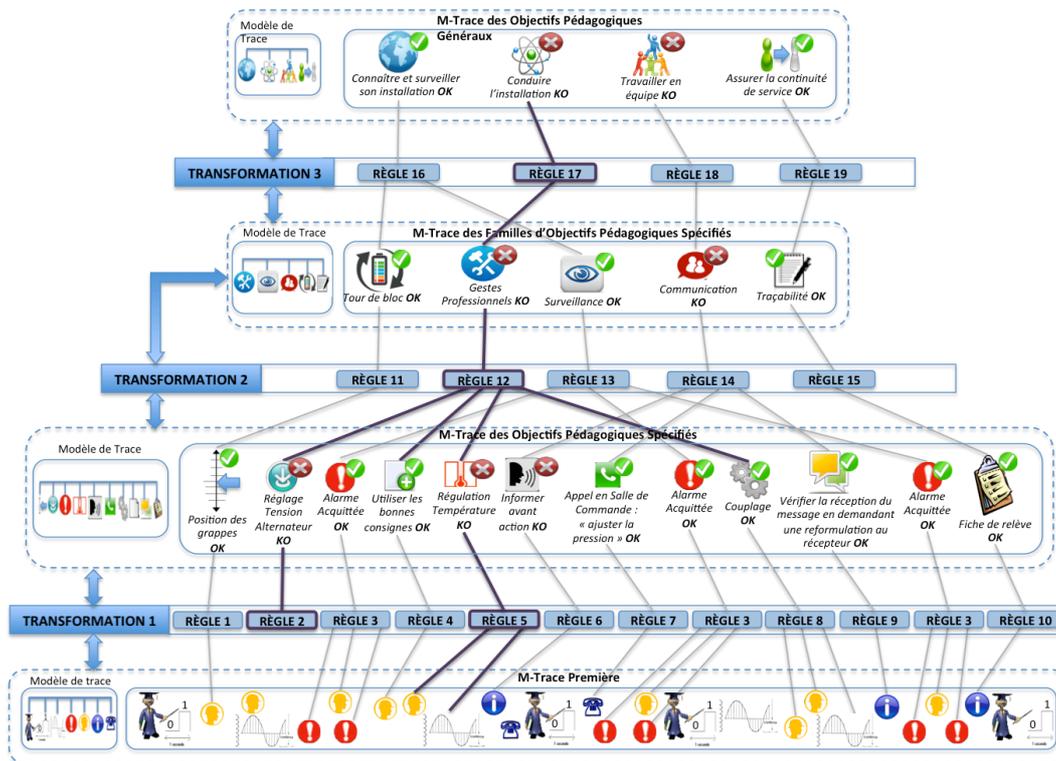


Figure 34 : Principe d'analyse à base de transformation de traces

Techniquement, ces différents niveaux de m-trace sont obtenus en appliquant des transformations à base de règles. Comme le montre la Figure 34, chaque observé d'une trace de niveau n est en relation avec ses observés d'origines de la trace de niveau $n-1$. Quant aux observés de la trace première, ils sont en relations avec les données collectées par le simulateur. Cette organisation permet d'explorer les raisons de réussite ou d'échec des stagiaires pour mieux préparer le débriefing.

4.4.3 Expérimentations et résultats

Méthode d'évaluation

Nous avons mené une expérimentation afin d'évaluer notre approche d'analyse du comportement à base de traces. Cette expérimentation a suivi une méthode d'évaluation basée sur une comparaison de deux sessions de simulations, en contexte réel, l'une avec D3KODE et l'autre sans. Afin d'utiliser D3KODE, il est nécessaire de créer a priori les modèles de traces et de transformations. C'est pourquoi, nous avons, dans un premier temps, mené un processus d'acquisition de connaissances permettant de collecter, auprès des experts, l'ensemble des informations nécessaires à cette modélisation. Ainsi, l'ensemble de l'évaluation a suivi ces étapes :

- Création des modèles de traces et des règles de transformation ;
- Simulations et analyses de la séance sans et avec D3KODE ;
- Analyse des résultats.

Création des modèles de traces et de transformations

La création des modèles de traces et de transformations nous a conduit à analyser les différents documents d'observation utilisés par les formateurs et à définir un processus d'acquisition de connaissances reposant sur plusieurs étapes. La première porte sur la collecte des données de *référence* à partir d'une séance de simulation filmée. Dans cette séance, des opérateurs confirmés ont tenu le rôle des stagiaires afin de garantir une conduite *parfaite*, et ainsi produire des journaux de bord sans erreur. Ces données ont été ensuite analysées par un expert afin de reconstruire l'activité des opérateurs stagiaires pour tous les attendus de la grille d'observation. Durant cette phase, l'expert a été filmé et invité à verbaliser ses pensées afin d'analyser ses réalisations a posteriori. La vidéo ainsi que tous les documents utilisés par l'expert ont été analysés dans le but d'identifier comment ce dernier valide les observables de la grille d'observation à partir des journaux de bord. Cette étape a été suivie par un entretien d'auto-confrontation avec l'expert pour valider les règles créées.

Ce processus nous a permis de créer, à partir d'une trace première de 3525 observés, 7 types d'observés différents. Le modèle de la trace des « objectifs pédagogiques spécifiés » contient 51 types d'observés, et le modèle de la trace « famille d'objectifs pédagogiques spécifiés » est composé de 4 types d'observés. Concernant les transformations, nous avons créé 73 règles : 51 règles entre la trace première et la trace des objectifs pédagogiques spécifiés et 22 règles entre la trace des objectifs pédagogiques spécifiés et la trace famille d'objectifs pédagogiques spécifiés.

La m-trace des objectifs pédagogiques généraux n'a pas été utilisée. Au vu des observés triviaux et peu nombreux de cette m-trace, parfaitement connus des formateurs, ces derniers n'ont pas jugé utile de l'employer. Au cours de l'évaluation, des réflexions tout à fait similaires se sont posées pour la m-trace des familles d'objectifs pédagogiques spécifiés (4 types d'observés). Les formateurs ont en effet souhaité ne pas surcharger la synthèse visuelle et privilégier ainsi la visibilité de la m-trace des objectifs pédagogiques spécifiés.

Simulations

La première session de simulation, sans D3KODE, a fait appel à 6 participants : deux opérateurs chargés de conduire la centrale, deux formateurs chargés de piloter le simulateur et suivre les réalisations des opérateurs. La deuxième séance de simulation, avec D3KODE, a été conduite par les mêmes formateurs mais avec deux autres opérateurs stagiaires de même niveau que les deux premiers. Pour la préparation du débriefing, les deux formateurs ont utilisé D3KODE afin d'analyser les activités des deux opérateurs. Pour cela, D3KODE a été configuré par les modèles de traces et de transformations issus de la première étape.

Les deux séances de simulation, ont été suivies par deux *experts juges*. Ces derniers ont assisté à l'ensemble des étapes des deux séances de simulation (réalisation, analyse et débriefing) afin de comparer et analyser les résultats des deux sessions.

Résultats

La première simulation a duré 1 heure et 14 minutes pendant laquelle les formateurs ont observé 6 non réalisations (2 tracées dans les logs et 4 non tracées, concernant des communications orales entre opérateurs). La deuxième simulation a duré 1 heure et 13 minutes au cours de laquelle les formateurs ont observé 12 non réalisations. Sur les 23 attendus des grilles d'observations, 3 ne pouvaient pas être visualisés par D3KODE puisque leurs actions correspondantes n'étaient pas présentes dans les journaux de bord et un attendu a été décomposé en deux sous attendus pour les besoins de la simulation.

Après les deux simulations, un questionnaire a été adressé aux formateurs. Les réponses des formateurs ont démontré que la majorité des observés affichés par D3KODE étaient conformes à la

simulation. Les formateurs ont également estimé que la représentation de plusieurs niveaux de traces est un moyen qui a favorisé l'analyse des activités des opérateurs. En effet, les formateurs ont jugé appréciable et utile l'accès rapide aux informations des observés, telles que le numéro d'ordre, les dates de début et de fin, l'origine des obsels, etc. Cette visualisation a facilité l'analyse et les échanges entre formateurs durant la phase de préparation du débriefing.

Les formateurs s'attendaient néanmoins à des informations supplémentaires par rapport aux observables des grilles. L'ergonomie de la synthèse visuelle de D3KODE a également été critiquée. Elle mérite d'être améliorée selon les participants.

Dans l'ensemble, D3KODE a été perçu comme une plate-forme pouvant renforcer les outils actuels des formateurs afin de renforcer l'observation et l'analyse des activités des stagiaires et favoriser la création et la réutilisation des connaissances d'observation. Le rapport de thèse d'Olivier Champalle (Champalle, 2014) donne plus de détail sur cette expérimentation.

4.5 Analyse de l'engagement

4.5.1 Problématique et positionnement scientifique

Dans le cadre des EIAH et des serious games en particulier, nous nous sommes intéressés à l'analyse du comportement des apprenants afin d'aider les concepteurs, formateurs ou enseignants à adapter les aspects pédagogiques et ludiques du serious games si besoin. Dans ce cadre, nous nous sommes intéressés à l'analyse de l'engagement dans le cadre du projet QUEJANT (Bouvier, Sehaba, & Lavoué, 2014). L'engagement est un indicateur effectif de la motivation et de l'acceptation du jeu par l'apprenant.

La notion d'engagement a diverses acceptions selon le domaine d'étude. En effet, l'intérêt de cette notion est partagé par plusieurs domaines comme les MOOC (Anderson, Huttenlocher, Kleinberg, & Leskovec, 2014) (Milligan, Littlejohn, & Margaryan, 2013), l'interaction humain robot (Rich, Ponsler, Holroyd, & Sidner, 2010), le Web (Attfield, Kazai, Lalmas, & Piwowski, 2011), les jeux vidéo (Boyle, Connolly, Hailey, & Boyle, 2012), la réalité virtuelle (Schubert, Friedmann, & Regenbrecht, 2001) (Garris, Ahlers, & Driskell, 2002). Comme le souligne (Boyle, Connolly, Hailey, & Boyle, 2012), l'engagement reste un concept confus qui englobe plusieurs notions. Afin de lever toute ambiguïté de ce concept, nous avons présenté dans (Bouvier, Lavoué, & Sehaba, 2014) un état de l'art pluridisciplinaire sur la notion d'engagement et son positionnement par rapport à d'autres concepts tels que l'immersion, l'implication, le flow et la présence. La définition que nous avons retenue considère l'engagement comme la volonté d'avoir ses émotions, affect et pensées dirigés vers et déterminés par l'activité médiatisée.

Pour déterminer si un comportement reflète ou non un engagement, nous avons étudié la question des motivations et des besoins universels des individus. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur la théorie de l'auto-détermination (SDT : Self Determination Theory) fondée par Ryan & Deci (Richard & Edward, 2000). Cette dernière identifie trois besoins psychologiques innés des êtres humains, à savoir le sentiment de *compétence*, de *l'autonomie* et des *relations sociales*. En accord avec notre définition de l'engagement et la SDT, nous avons distingué quatre types de comportement engagé¹⁹ :

- Engagement environnemental : besoin d'autonomie ;
- Engagement vers les autres : besoins de relations sociales ;
- Engagement de soi : besoin d'autonomie ;
- Engagement d'actions : besoins de compétences et d'autonomie.

¹⁹ L'article (Bouvier, Lavoué, & Sehaba, 2014) donne plus de détails sur les différents types d'engagement dans les serious games.

Plusieurs méthodes d'analyse de l'engagement sont proposées dans la littérature. Ces méthodes peuvent être regroupées en deux catégories : objectives et subjectives. Les méthodes subjectives portent sur l'auto-évaluation telles que les questionnaires (Kivikangas, et al., 2011) ou les entretiens (Fredricks & McColskey, 2012). Les limites de ces méthodes, menées après l'activité médiée, résident dans le manque d'introspection des utilisateurs et la représentativité des échantillons interrogés.

Les méthodes objectives s'appuient généralement sur des *métriques* ou sur des techniques de fouilles sur des données collectées à partir des actions des utilisateurs (nombre et durée de connexion, déplacement de personnages, etc.). Ces méthodes permettent d'extraire des informations pertinentes et interprétables dans un contexte écologique. Sans interférer avec l'activité, elles permettent d'analyser le comportement des utilisateurs pendant l'activité et non a posteriori. Elles permettent également de mener une analyse avec l'ensemble des utilisateurs plutôt qu'avec un échantillon sélectionné dans un intervalle de temps. Néanmoins, comme le soulignent (Alessandro & Anders, 2009), ces méthodes mettent en évidence ce que fait l'utilisateur mais ne nous renseignent pas sur son état d'engagement ou de motivation. D'autres approches considèrent le comportement engagé comme une séquence d'actions. Dans ce cadre, (Beal, Qu, & Lee, 2006) propose une approche de classification pour étudier l'engagement des apprenants lors de l'utilisation d'un système de tutorat intelligent.

Pour éviter les difficultés mentionnées ci-dessus, nous avons adopté une approche d'identification et de qualification de comportement engagé qui combine la théorie de l'activité et les traces d'interaction. Le fondement et le principe de cette approche sont présentés dans la section suivante.

4.5.2 Approche qualitative

Afin de caractériser les comportements engagés, nous nous basons sur la théorie de l'activité, initiée par Vygotsky (Vygotsky, 1978) et Leontiev (Leontiev, 1978), pour mettre en relation les besoins et motivations de l'individu et le comportement engagé. Cette théorie distingue trois niveaux : l'activité, l'action et l'opération. L'activité est en relation directe avec un besoin ou un motif de l'individu et peut donner lieu à une variété d'actions. L'action est effectuée par une opération et dépend de l'activité dans laquelle elle s'inscrit. Une opération est une réalisation effective de l'action. Ainsi, les opérations sont dépendantes de la situation et du contexte d'exécution.

En s'appuyant sur cette théorie, nous considérons un comportement engagé comme une ou plusieurs activités partageant le même motif. Ce motif est conçu par les besoins identifiés par la SDT. Les activités sont décomposées en *chaînes d'actions* et, à plus bas niveau, en chaînes d'opération effectuées par l'utilisateur.

Techniquement, les opérations correspondent aux obsels de la trace première, les actions correspondent aux traces transformées du niveau intermédiaire et les activités correspondent aux traces de plus haut niveau. Ainsi se forment les quatre niveaux de trace de la Figure 35.

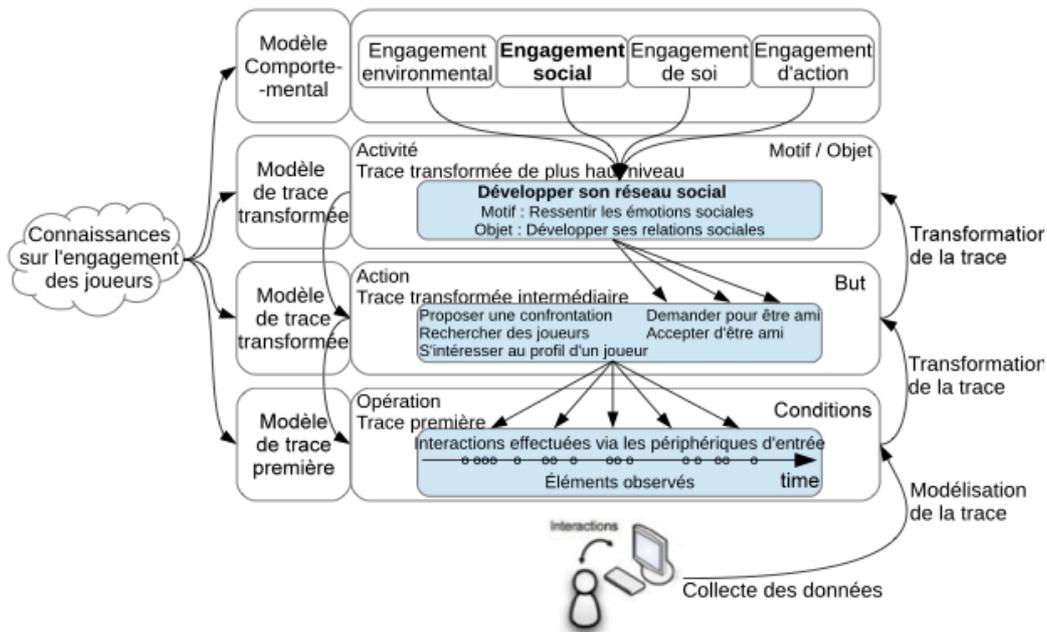


Figure 35 : Principe d'analyse de l'engagement (Bouvier, Sehaba, Lavoué, & George, 2013)

Le processus d'analyse consiste à générer une trace transformée intermédiaire à partir de la trace première. Puis de générer, à partir de la trace intermédiaire, une trace transformée de plus haut niveau. Enfin, d'identifier les types d'engagement à partir de cette dernière. Le passage d'un niveau à un autre est assuré par des connaissances de transformations modélisées sous forme de règles (cf. section 4.4.2).

4.5.3 Expérimentation et résultats

Contexte applicatif

L'application de notre approche porte sur un jeu social, nommé *BodyBoarding*. Ce dernier est un jeu de surf permettant aux utilisateurs de voyager de plage en plage afin d'effectuer des figures de surf spectaculaires, de réaliser des défis ou se confronter aux autres joueurs. Ce jeu offre une variété de comportements qui peut couvrir les quatre types d'engagement. À titre d'exemple, les dimensions sociale et d'action sont favorisées à travers la concurrence entre les joueurs et le rendu réaliste de l'activité de bodyboard respectivement.

Ce jeu, accessible en ligne, compte environ 150 000 joueurs par mois. Il est doté d'un système de collecte permettant d'enregistrer les traces d'interaction des joueurs, il nous offre donc une bonne application pour analyser les comportements engagés dans des conditions écologiques.

Méthode d'évaluation

L'objectif de l'évaluation que nous avons menée était de vérifier la faisabilité de notre processus d'analyse et de valider notre approche d'identification de comportements engagés. Pour cela, nous avons conduit une expérimentation basée sur une méthode d'évaluation comparative. Il s'agit, sur la base de nos propositions, de mesurer l'engagement d'un échantillon représentatif de joueurs à partir de leurs traces d'interaction, puis de comparer les résultats obtenus avec ceux d'un groupe d'experts. Cette évaluation a impliqué trois experts dans les jeux sociaux et 12 joueurs organisés en deux groupes, à savoir : un groupe de 6 joueurs considérés comme engagés par les concepteurs du jeu *BodyBoarding* et un groupe de 6 joueurs considérés comme non engagés. Nous avons collecté les traces de ces joueurs sur une période de 4 mois. Chacune des traces peut contenir jusqu'à 89 types d'obsels et plusieurs milliers d'obsels (10718 obsels pour le joueur le plus actif dans cette période).

Une fois les traces nettoyées, nous les avons introduites dans D3KODE afin de les analyser selon notre approche. Pour cela, D3KODE a été préalablement configuré par des modèles de traces et des règles de transformation correspondants. Par exemple, les obsels *open_profile_improvements* et *open_profile_skills* sont agrégés afin de générer l'action Acquérir des informations sur les défis proposés.

Pour le premier groupe de joueurs, cette analyse nous a permis d'identifier 5 joueurs engagés et un joueur non engagé. Tous les joueurs du deuxième groupe ont été identifiés comme non engagés.

En parallèle du traitement par D3KODE, nous avons demandé aux trois experts d'analyser les traces brutes des douze joueurs pour déterminer leurs engagements. Naturellement, ces experts ne connaissaient pas les profils des joueurs. Afin de mieux guider cette analyse, nous avons communiqué aux experts un document précisant notre définition de l'engagement et décrivant, à travers des exemples simples, les quatre types d'engagement. Toutefois, la définition de l'engagement donnée aux experts est d'une importance secondaire, car les experts ont été choisis en fonction de leur expertise dans ce domaine.

L'analyse des experts était guidée par un questionnaire fermé. Ainsi, ils avaient trois réponses possibles (oui, non et sans opinion) pour répondre aux questions suivantes :

- Est-ce que la Trace X correspond à un joueur engagé ?
- Est-ce que la Trace X correspond à un engagement social ?
- Est-ce que la Trace X correspond à un engagement de l'action ?
- Est-ce que la Trace X correspond à un engagement de l'environnement ?
- Est-ce que la Trace X correspond à un engagement de soi ?

Pour extraire une méta-expertise de chaque triplet de réponses, nous avons appliqué les règles suivantes pour chaque question :

- Si les trois experts donnent la même réponse (trois oui ou trois non), leur opinion est retenue ;
- Si deux experts donnent la même réponse (deux oui ou deux non) et le troisième donne une réponse différente, alors l'opinion de la majorité est retenue. Dans le cas de deux réponses sans opinion, et un oui ou un non, le oui ou le non est retenu.
- Si les trois experts sont en désaccord total (un oui, un non et un sans opinion), alors les réponses sont omises.

Résultats

La Figure 36 (Bouvier, Sehaba, & Lavoué, 2014) présente le taux de correspondance de nos résultats avec l'analyse des experts. Comme le montre cette figure, les analyses des experts ont corroboré nos résultats pour 11 traces sur les 12, ce qui représente un taux de réussite de 91,69%.

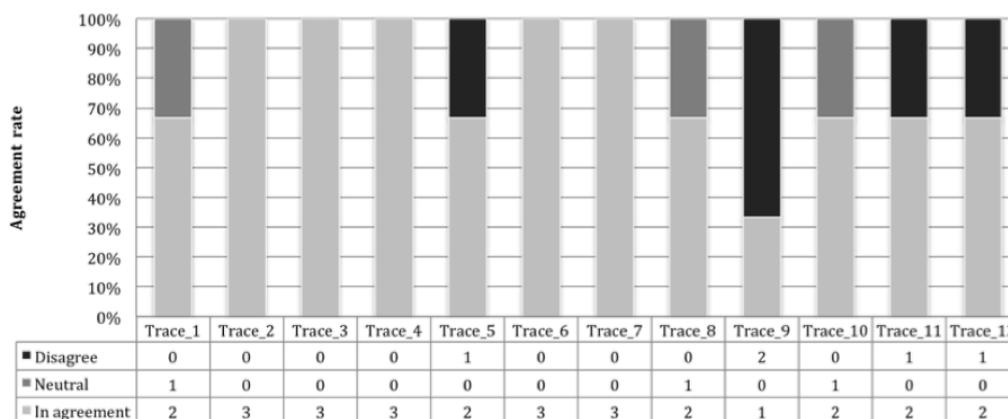


Figure 36 : Résultats d'identification de l'engagement

La trace 9 a été identifiée comme non engagé par nos résultats et par un expert alors que les deux autres l'ont identifié comme engagé. Afin de comprendre les raisons de ce désaccord, nous avons mené une analyse approfondie de cette trace. Il s'avère que son joueur a joué 11 séances durant 3 mois environ ce qui prouve qu'il a exprimé un intérêt pour le jeu, pour l'activité « réaliser des défis » en particulier, mais pas un engagement selon notre définition.

Concernant la prédiction des types d'engagement, nous avons adopté le même principe de comparaison.

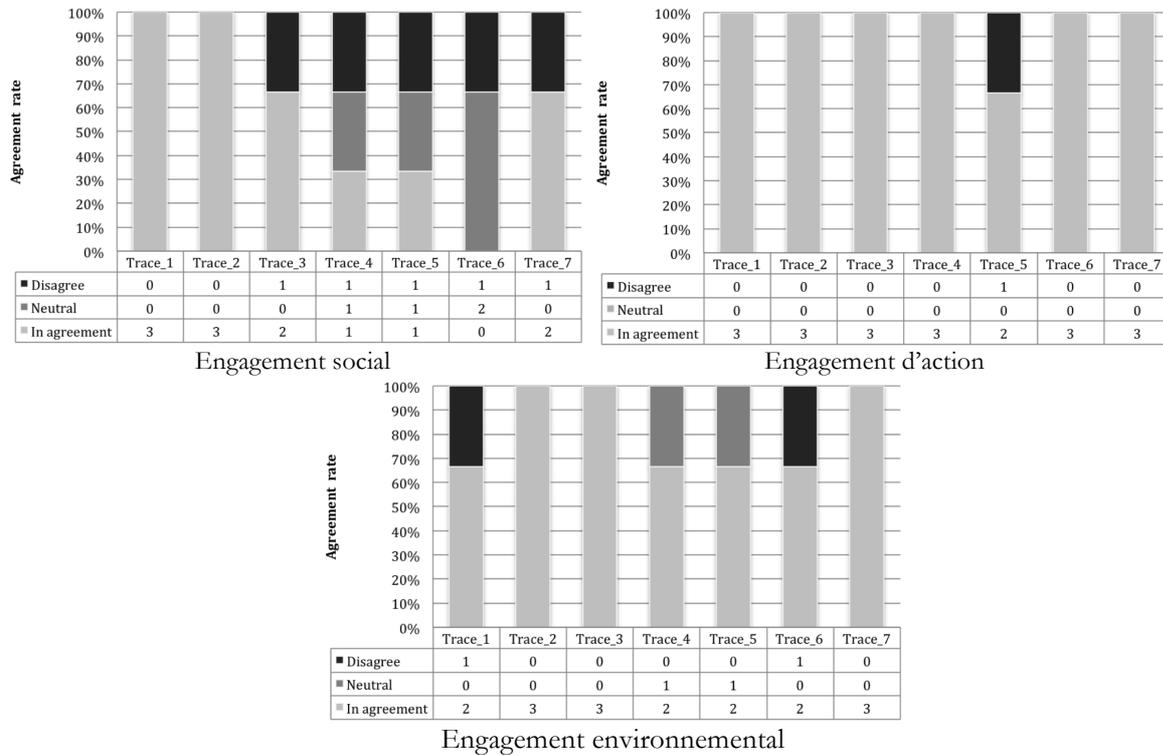


Figure 37 : Résultats d'identification des types d'engagement

La Figure 37 présente une comparaison entre nos résultats et l'analyse des experts en ce qui concerne l'engagement social, d'action et environnemental. Pour le premier, nous estimons qu'une trace reflète un engagement social si au moins un obsel du niveau *activité* relève d'un comportement social. Les cas des traces 4 et 5 sont omis puisque les trois experts sont en désaccord. Ainsi, l'analyse des experts corrobore les résultats obtenus avec notre approche pour 4 traces sur les 5 (les traces 4 et 5 sont omises). Par conséquent, le taux de prédiction de l'engagement social est de 80%.

Concernant l'engagement environnemental et d'action, les analyses des experts corroborent les résultats obtenus avec notre approche pour les 7 traces d'interaction avec un taux de 100%.

4.6 Conclusion

Alors que l'extraction de connaissances génère des connaissances permettant aux systèmes de s'adapter aux différentes situations (cf. chapitre 3), l'analyse du comportement permet au concepteur de comprendre comment l'utilisateur réagit avec le système. Dans ce chapitre, nous avons présenté nos contributions d'analyse du comportement de l'utilisateur à partir des traces d'interaction. Plus particulièrement, nos travaux sont centrés sur l'analyse des activités d'apprentissage et l'engagement de l'utilisateur dans le cadre des environnements informatiques pour l'apprentissage humain.

Notre approche d'analyse repose donc sur la transformation des traces d'interaction. À partir d'une trace première, représentant les données de bas niveau issues des interactions entre l'utilisateur et

L'EIAH, nous appliquons des transformations successives afin d'extraire des informations traduisant des comportements de haut niveau de l'utilisateur. Les transformations s'effectuent à travers un système à base de règles. Pour cela, nous avons proposé des modèles de traces et de transformations. Ces modèles ont été développés dans le cadre de la plate forme D3KODE. Cette dernière permet le stockage, la transformation et la visualisation de traces.

D3KODE a été utilisé pour l'analyse des activités des opérateurs apprenants sur simulateur pleine échelle de conduite de centrale nucléaire. L'analyse du comportement ici sert à aider les formateurs à analyser les réalisations des opérateurs afin de préparer la phase de débriefing. Cette première application nous a permis de valider nos contributions à travers une expérimentation impliquant des experts et des formateurs de l'Unité de Formation Production d'Ingénierie d'EDF.

D3KODE a également été utilisé pour analyser l'engagement des joueurs dans un jeu social dans le cadre du projet QUEJANT (Qualification de l'Engagement d'un Joueur à partir de l'Analyse de ses Traces) en partenariat avec trois sociétés de jeux vidéo. Notre contribution dans ce projet a été évaluée et validée dans le cadre d'un protocole impliquant trois experts de jeux sociaux et 12 traces représentant les activités de 12 joueurs sur 4 mois.

Chapitre 5 : Conclusion et perspectives

Nos recherches portent sur l'adaptation dynamique des systèmes interactifs. Plus précisément, il s'agit de définir des modèles et des mécanismes qui permettent aux Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain de :

1. s'adapter à l'utilisateur et à son contexte d'usage. Dans ce cadre, nous avons développé des approches de génération de scénarios dans les serious games, d'adaptation des expériences partagées dans les environnements d'apprentissage en ligne, et de production d'émotions pour des personnages non joueurs dans les jeux.
2. d'extraire des connaissances à partir des traces d'interaction. Nos travaux ont porté sur la mise à jour des connaissances du domaine et du profil de l'utilisateur ainsi que sur l'apprentissage des connaissances d'adaptation à partir des feedbacks de l'utilisateur.
3. d'analyser le comportement de l'utilisateur. Nous nous sommes concentrés sur l'analyse des activités d'apprentissage des opérateurs stagiaires sur simulateurs pleine échelle et l'analyse de l'engagement des joueurs dans les jeux.

Pour tous ces travaux, nous avons adopté une conception centrée utilisateur. Ainsi, nos contributions ont été développées et testées avec des experts et des utilisateurs finaux dans le cadre d'une panoplie de projets en partenariat avec des structures académiques et industrielles.

Dans les sections suivantes, nous présentons nos travaux actuels et futurs.

5.1 Serious game et Handicap

Dans le cadre des EIAH adaptatifs, mes travaux actuels et futurs portent sur des questions relatives à l'immersion et l'engagement des utilisateurs dans l'activité d'apprentissage. Je reste également attaché aux applications dédiées aux personnes en situation de handicap, et à la santé en général.

Dans ce sens, nous travaillons actuellement sur l'identification et la qualification de l'engagement dans un serious game dédié à la formation du personnel de santé (cf. Figure 38). Dans ce jeu, la tâche de l'utilisateur est d'identifier l'état du patient à partir d'un certain nombre de symptômes (rythme cardiaque, température du corps, rythme respiratoire, etc.) puis de lui proposer le remède approprié. À travers ce jeu, nous voulons adapter notre approche d'identification et de qualification de l'engagement, présentée dans le chapitre 4, à l'engagement lié à l'activité d'apprentissage. Ce travail entre dans le cadre d'un projet en partenariat avec l'Université Technique de Lisbonne.

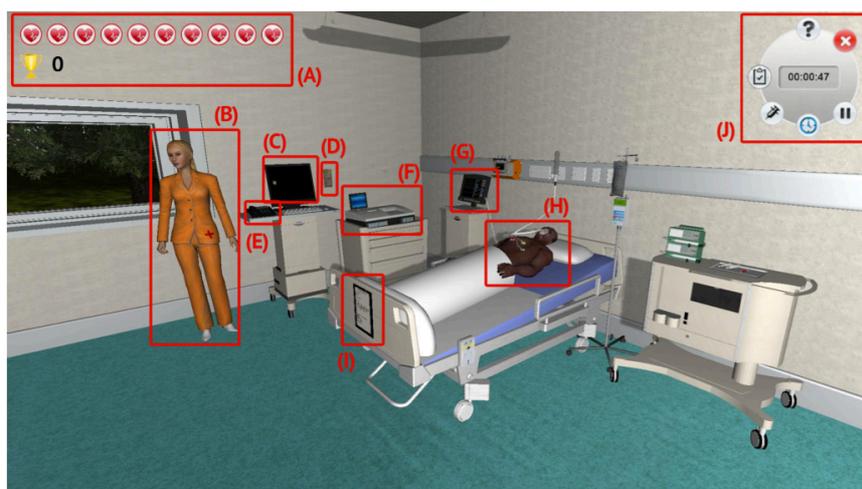


Figure 38 : Serious game « Sepsis fast track » (Ribeiro, Lavoué, Sehaba, Pereira, & Baalsrud Hauge, 2014)

À travers le projet BeInG, nous voulons étendre notre modèle émotionnel, développé dans le cadre du projet DEEP (cf. chapitre 2), afin de prendre en compte les relations sociales dans la perception et

l'expression des émotions. Il s'agit de concevoir des personnages capables de moduler leurs émotions en fonction de leurs relations sociales et de faire évoluer ses dernières à partir des émotions qu'ils ressentent. En effet, dans nos travaux antérieurs, nous avons associé à chaque événement un potentiel émotionnel qui permet au personnage de calculer l'intensité émotionnelle ressentie. Dans BeInG, le potentiel émotionnel sera inféré à partir des expériences du personnage. Pour cela, nous représentons l'expérience sous forme de trace. Cette dernière contient les interactions entre le personnage et son environnement. Ainsi, lors de l'évaluation cognitive (cf. chapitre 2), le personnage va décider, en fonction de ses objectifs, croyances et sa culture par exemple, d'exprimer ou non une émotion et réaliser des actions qui lui permettent de faire évoluer ses relations sociales. Nos premiers résultats ont été publiés dans (Garnier, Sehaba, Lavoué, & Marty, 2014).

5.2 Médias sociaux et apprentissage

Mes recherches s'orientent également vers des problématiques relatives à l'utilisation des médias sociaux pour l'apprentissage. En effet, les médias sociaux sont de plus en plus utilisés dans le domaine éducatif. Ceci s'explique par la multitude des ressources qu'ils contiennent et le fait qu'ils facilitent l'interaction et l'entraide entre les apprenants (Guy & Carmel, 2011). Néanmoins, les utilisateurs de ces réseaux peuvent subir une surcharge informationnelle dans laquelle il est souvent difficile de distinguer l'information pertinente de l'information secondaire, voire même inutile. Ceci nécessite un filtrage de contenus en fonction des intérêts de l'utilisateur. Dans ce cadre, plusieurs approches de recommandation de ressources ont été proposées. Parmi celles-ci, on trouve des méthodes basées sur le filtrage collaboratif (Goldberg, Nichols, Oki, & Terry, 1992). Il s'agit de recommander des ressources en prenant en compte la similarité entre les préférences de l'utilisateur et les caractéristiques des ressources. D'autres méthodes sont basées sur la similarité de contenu (Pazzani & Billsus, 2007). Il s'agit de recommander des ressources similaires aux ressources pour lesquelles l'utilisateur a montré un intérêt dans le passé.

Parmi les systèmes de recommandation dédiés aux EIAH, on trouve Altered Vista (Recker & Walker, 2003) et RACOFI (Anderson, et al., 2003), tous les deux basés sur le filtrage collaboratif. D'autres systèmes, à l'instar de ReMashed (Drachler, et al., 2009), proposent aux apprenants d'évaluer les ressources afin de mieux identifier l'utilisateur et ainsi adapter la recommandation.

Dans le cadre de la thèse de Mohamed Tadlaoui (Tadlaoui, 2014), nous développons une approche de recommandation basée sur la similarité entre utilisateurs. Il s'agit d'exploiter, en plus du profil de l'utilisateur cible, les informations présentes dans les profils de ses amis proches afin de personnaliser et rendre plus pertinente la recommandation. En effet, les caractéristiques des profils des utilisateurs peuvent être partielles, périmées ou inappropriées. Nous pensons que les liens sociaux peuvent aider à enrichir ou à corriger les informations stockées dans le profil de l'apprenant en s'appuyant sur les informations présentes dans les profils de ses amis.

5.3 Mooc

Les Mooc²⁰ (Massive Open Online Courses) représentent la tendance la plus marquante dans le domaine des environnements informatiques pour l'apprentissage humain ces dernières années. Par leur nature *ouverte* et *massive*, les Mooc sont caractérisés par le nombre important d'inscrits. En effet, le premier Mooc, de Stephen Downes et George Siemens, a enregistré 2300 participants. En France, le Mooc ABC de la gestion de projet, de l'École centrale de Lille, a enregistré 3500 inscrits au démarrage. Le Tableau 15 présente les résultats d'une étude, publié dans (Hara, Moskal, & Saarinen, 2013), sur un Mooc dans le domaine du tourisme de l'Université Centrale de Floride. Ce Mooc, d'une durée de 6 semaines, a enregistré 450 inscrits dont 100 actifs environ.

²⁰ Cours en ligne ouverts et massifs

Tranche d'âge	Nb	Taux	Système	Nb	Taux
18-24	9	9,89%	PC ou Portable (Apple)	14	15,38
25-34	45	49,45	PC ou portable (Windows)	76	83,53
35-44	17	18,68	Android Phone	8	8,79
45-54	14	15,38	Android Tablette	8	8,79
55-64	6	6,59	Iphone	7	7,69
			Ipad	9	9,89
			Autre	3	3,30

Localisation géographique	Nb	Taux
Afrique	7	7,69
Australie et Pacifique Sud	1	1,10
Amérique centrale	3	3,30
Asie de l'Est	11	12,09
Europe de l'Est ou URSS	7	7,69
Proche-Orient	4	4,40
Amérique du Nord	7	7,69
Amérique du Sud	4	4,40
Asie du Sud	2	2,20
Asie du Sud-Est	2	2,20
Europe de l'Ouest	44	48,35

Tableau 15 : Statistiques sur le contexte d'usage d'un Mooc de l'Université Centrale de Floride (Hara, Moskal, & Saarinen, 2013)

L'étude menée, dans cet exemple, met en évidence la nature *hétérogène* des utilisateurs (âge, lieu, culture, etc.) et la diversité des dispositifs qu'ils utilisent (tablette, téléphone, ordinateur de bureau, etc.) pour accéder aux ressources du Mooc. Par conséquent, l'adaptation dynamique de ces environnements constitue un des enjeux majeurs pour prendre en compte les spécificités du contexte d'usage. Cette adaptation peut porter sur la recommandation des ressources et les scénarios d'apprentissage.

Bibliographie

- Carron, T., Marty, J.-C., & Heraud, J.-M. (2008). Teaching with Game Based Learning Management Systems : Exploring and observing a pedagogical. *Simulation & Gaming*, 39 (3), 353–378.
- Heraud, J.-M., France, L., & Mille, A. (2004). Pixed : An ITS that guides students with the help of learners' interaction logs. *7th International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, pp. 57–64.
- Manly, T., Anderson, V., Nimmo-Smith, I., Turner, A., Watson, P., & Robertson, L. (2001). The differential assessment of children's attention: The Test of Everyday Attention for Children (TEA-Ch), normative sample and ADHD performance. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 42, 1065-1081.
- Šimko, M. (2012). Automated Acquisition of Domain Model for Adaptive Collaborative Web-Based. *Information Sciences & Technologies: Bulletin of the ACM Slovakia*, 4 (2), 1-9.
- Hara, T., Moskal, P., & Saarinen, C. (2013, Novembre). Preliminary Analyses of a Cutting-Edge Knowledge Distribution Method of MOOC (Massive, Open, Online Course) to Teach Tourism as an Industry. *3rd International Conference on the Measurement and Economic Analysis of Regional Tourism MOVE 2013*.
- De Bra, P., Brusilovsky, P., & Houben, G.-j. (2000). Adaptive Hypermedia : From Systems to Framework. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 1 (212), 1-6.
- Ullrich, C., & Melis, E. (2010). Complex Course Generation Adapted to Pedagogical Scenarios and its Evaluation. *Educational Technology & Society*, 13 (2), 102–115.
- Ullrich, C., & Melis, E. (2009). Pedagogically founded courseware generation based on HTN-planning. *Expert Systems with Applications*, 36, 9319–9332.
- Zyda, M. (2005). From Visual Simulation to Virtual Reality to Games. (I. C. Press, Éd.) *Computer*, 38.
- Zajonc, R. (1980). Feeling and thinking : preferences need no inferences. *American psychologist*, 35, 151–175.
- Zouaq, A., & Nkambou, R. (2008). Building Domain Ontologies from Text for Educational Purposes. *IEEE Transactions on Learning Technologies*.
- Wallace, J., & Newman, J. (1998). Neuroticism and the facilitation of the automatic orienting of attention. *Personality and Individual Differences*, 24, 253–266.
- Watson, D., & Lee, A. (1992). On traits and temperaments : General and specific factors of emotional experience and their relation to the five-factor model. *Journal of Personality*, 60, 441–476.
- Weibelzahl, S. (2002). *Evaluation of Adaptive Systems*. Graduate Programme Human and Machine Intelligence, University of Education Freiburg.
- Wiratunga, N., Craw, S., Rowe, R., & Sk Na, C. (2002). Learning to Adapt for Case-Based Design. *Proceedings of the Sixth European Conference on Case-Based Reasoning*, pp. 423-437.
- Vygotsky, L. (1978). *Mind in Society : The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Vanderdonckt, J., Grolaux, D., Van Roy, P., Limbourg, Q., Macq, B., & Michel, B. (2005). A Design Space For Context- Sensitive User Interfaces. *International Conference on Intelligent and Adaptive Systems and Software Engineering*, pp. 207-214.
- Vassileva, J., & Deters, R. (1998). Dynamic courseware generation on the WWW. *British Journal of Educational*, 29 (1), 5–14.
- Velardi, P., Fabriani, P., & Missikoff, M. (2001). Using text processing techniques to automatically enrich a domain ontology. *Proceedings of the international conference on Formal Ontology in Information Systems - FOIS '01*, pp. 270–284.

- Viviane, G., Adam, J.-M., Pernin, J.-P., Gaëlle, C., & David, J.-P. (2004). L'exploitation d'Objets Pédagogiques Interactifs à distance: le projet FORMID. *Revue Sticesf*, 11, 1-46.
- Alvarez, J. (2007). *Du jeu vidéo au serious game, approches culturelle, pragmatique et formelle*. Thèse de doctorat en science de l'information et de la communication, Université de Toulouse.
- Alessandro, C., & Anders, D. (2009). Patterns of play : Play-personas in user-centred game development. *Breaking New Ground : Innovation in Games, Play, Practice and Theory : Proceedings of the 2009 Digital Games Research Association Conference* .
- Anderson, A., Huttenlocher, D., Kleinberg, J., & Leskovec, J. (2014). Engaging with massive online courses. *Proceedings of the 23rd international conference on World Wide Web (WWW '14)*, pp. 687-698.
- Anderson, M., Ball, M., Boley, H., Greene, S., Howse, N., Lemire, D., et al. (2003). RACOFI: A Rule-Applying Collaborative Filtering System. *Proceedings of IEEE/WIC international conference on web intelligence/intelligent agent technology*, pp. 13-23.
- Archambault, D. (2010). *Interaction et usages des modalités non visuelles, accessibilité des contenus complexes*. Habilitation à Diriger les Recherches, Université Pierre et Marie Curie - Paris 6.
- Attfield, S., Kazai, G., Lalmas, M., & Piwowarski, B. (2011). Towards a science of user engagement (Position Paper). *Proceedings of WSDM Workshop on User Modelling for Web Applications* .
- Bui, T., Heylen, D., Poel, M., & Nijholt, A. (2002). Parlee : An adaptive plan based event appraisal model of emotions. *KI '02 : Proceedings of the 25th Annual German Conference on AI*, pp. 129–143.
- Balint, L. (1995). Adaptive interfaces for human-computer interaction: a colourful spectrum of present and future options. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Intelligent Systems for the 21st Century*, 1, pp. 292-297.
- Ball, G., & Breese, J. (2001). Emotion and personality in a conversational agent. Dans J. Cassel, J. Sullivan, S. Prevost, & E. Churchill, *Embodied conversational agents* (pp. 189 - 219). MA, USA: MIT Press Cambridge.
- Barnes, T., Stamper, J., Stamper, J., & Madhyastha, T. (2006). Comparative analysis of concept derivation using the q-matrix method and facets. *Workshop at Educational Data Mining at AAAI2006*, pp. 21–30.
- Beal, C., Qu, L., & Lee, H. (2006). Classifying learner engagement through integration of multiple data sources. *In Proceedings of the 21st national conference on Artificial intelligence, AAAI'06*, pp. 151–156.
- Becker, C., Kopp, S., & Wachsmuth, I. (2007). Why emotions should be integrated into conversational agents. Dans T. Nishida, *Conversational Informatics: An Engineering Approach*.
- Bellik, Y. (1995). *Interfaces multimodales : concepts, modèles et architectures*. Thèse de doctorat en informatique, Paris XI.
- Bernsen, N. O. (1997). A reference model for output information in intelligent multimedia presentation systems. *Computer standards and interfaces, Special double issue*, 18 (6-7), 537–553.
- Bigham, J., Lau, T., & Nichols, J. (2009). Trailblazer: enabling blind users to blaze trails through the web. *Proceedings of the 14th international conference on Intelligent user interfaces*, pp. 177–186.
- Bisson, G. (2000). *La similarité : une notion symbolique numérique*. (P. Y. E. Diday, Éd.) Induction symbolique numérique à partir de données.
- Bouzeghoub, N.-K. D. (2010). Active sharing of contextual learning experiences among users in personal learning environments using a peer-to-peer network. *Proceedings of the International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT '10*, pp. 78–82.
- Bouvier, P., Lavoué, E., & Sehaba, K. (2014). Defining Engagement and Characterizing Engaged-Behaviors in Digital Gaming. *Simulation and gaming*, 1-19.

- Bouvier, P., Sehaba, K., & Lavoué, E. (2014). A trace-based approach to identifying users' engagement and qualifying their engaged-behaviours in interactive systems Application to a social game. *User Modeling and User-Adapted Interaction* , 1-44.
- Bouvier, P., Sehaba, K., Lavoué, E., & George, S. (2013). Approche qualitative pour identifier et qualifier l'engagement des joueurs à partir de leurs traces d'interaction. *24èmes Journées Francophones d'Ingénierie des Connaissances* , pp. 1-16.
- Boyle, E., Connolly, T., Hainey, T., & Boyle , J. (2012). Engagement in digital entertainment games: A systematic review. *Computers in Human Behavior* , 28 (3), 771–780.
- Botella, C., Baños, R., Villa, H., Perpiñá, C., & Garcia-Palacios, A. (2000). Virtual reality in the treatment of claustrophobic fear: A controlled, multiple-baseline design. *Behavior Therapy* , 31, 583-595.
- Brusilovsky, P., & Vassileva, J. (2003). Course sequencing techniques for large-scale web-based education. *International Journal of Continuing Engineering Education and Lifelong Learning* , 13, 75-94.
- Brusilovsky, P., Hsiao, H., & Folajimi, Y. (2011). QuizMap: Open Social Student Modeling and Adaptive Navigation Support with TreeMaps. *EC-TEL'11 Proceedings of the 6th European conference on Technology enhanced learning: towards ubiquitous learning* , pp. 71-82.
- Broomfield, J., & Dodd, B. (2004). Children with speech and language disability: caseload characteristics. *International Journal of Language & Communication Disorders* , 39 (3), 303-324.
- Calvary, G., Coutaz, J., Thevenin, D., Limbourg, Q., Bouillon, L., & Vanderdonckt, J. (2003). A unifying reference framework for multi-target user interfaces. *Journal of Interacting With Computer* , 15 (3), 289-308.
- Campos, E., Granados, A., Jiménez, S., & Garrido, J. (2004). Tutor Informatico: Increasing the Selfteaching in Down Syndrome People. *Computers Helping People with Special Needs* , 629–629.
- Chang , W.-C., & Chou , Y.-M. (2008). Introductory C Programming Language Learning with Game-Based Digital Learning. *Advances in Web Based Learning-ICWL* , pp. 221 – 231.
- Champalle, O. (2014). *Capitalisation et partage de connaissances d'analyse de traces numériques d'activités : Assister le suivi de l'activité dans les environnements de formation à base de simulateur pleine échelle*. Thèse de doctorat en Informatique, Université Claude Bernard Lyon I.
- Champalle, O., & Dino, C. (2013). D3KODE : Define, Discover and Disseminate Knowledge from Observation to Develop Expertise. <http://liris.cnrs.fr/publis/?id=6138> .
- Champalle, O., Sehaba, K., & Mille, A. (2013). Capitalize and Share Observation and Analysis Knowledge to Assist Trainers in Professional Training with Simulation - Case of Training and Skills Maintain of Nuclear Power Plant Control Room Staff. *Conference on Computer Supported Education* , pp. 339-350.
- Champin, P.-A., Mille, A., & Prié, Y. (2013). Vers des traces numériques comme objets informatiques de premier niveau : une approche par les traces modélisées. *Intellectica* , 1 (59).
- Chin, J.-C. (2009). Multi-user narrative sharing system for children with chronic illness. *Proceedings of the International Conference on Advanced Learning Technologies* , pp. 479–481.
- Clauzel, D., Sehaba, K., & Prié, Y. (2011). Enhancing synchronous collaboration by using interactive visualisation of modelled traces. *Simulation Modelling Practice and Theory Journal* , 19 (1), 84–97.
- Clauzel, D., Sehaba, K., & Prié, Y. (2009). Modelling and visualising traces for reflexivity in synchronous collaborative systems. *International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems* .
- Conde, A., López de Ipiña, K., Larrañaga, M., Garay-Vitoria, N., Irigoyen, E., Ezeiza, A., et al. (2009). LAGUNTXO: a rule-based intelligent tutoring system oriented to people with intellectual disabilities. *Visioning and Engineering the Knowledge Society. A Web Science Perspective* , 186–195.
- Costa, P., & McCrae , R. (1980). Influence of extraversion and neuroticism on subjective well-being : happy and unhappy people. *Journal of personality and social psychology* , 38, 668–678.

- Cram, D. (2010). *Découverte interactive et complète de chroniques : application à aco-construction de connaissances à partir de traces*. Thèse de doctorat en informatique, Université Claude Bernard Lyon 1 .
- Cram, D., Jouvin, D., & Mille, A. (2007). Visualisation interactive de traces et réflexivité : application à l'ÉIAH collaboratif synchrone eMédiathèque. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation (STICEF)* , 14.
- Eysenck, H. (1967). The biological basis of personality. (C. C. Thomas, Éd.)
- Emmons, R., & Ed, D. (1986). Influence of impulsivity and sociability on subjective well-being. *Journal of personality and social psychology* , 1211– 1215.
- Dautenhahn, K. (1998). Story-telling in virtual environments. *ECAI Workshop on Intelligent Virtual Environments* .
- Damasio, A. (1994). *L'erreur de Descartes - la raison des émotions*. Odile Jacob.
- D'Aquin, M., Badra, F., Lafrogne, S., Lieber, J., Napoli, A., & Szathmary, L. (2007). Case base mining for adaptation knowledge acquisition. *IJCAI'07 Proceedings of the 20th international joint conference on Artificial intelligence* , pp. 750-755.
- De Bra, P., & Stash, N. (2002). AHA! Adaptive hypermedia for all. *Proceedings of ACE WebNet, World Conference of the WWW and Internet* , pp. 262-268.
- De Bra, P., Ad, A., Bart, B., Barend, d., Brendan, R., Tomi, S., et al. (2003). AHA! The Adaptive Hypermedia Architecture. *Proceedings of the Fourteenth ACM Conference on Hypertext and Hypermedia* , pp. 81-84.
- Dey, A. (2001). Understanding and Using Context. *Personal and Ubiquitous Computing Journal* , 5 (1), 4-7.
- Deaton, E., Barba, C., Santarelli, T., Rosenzweig, L., Souders, V., McCollum, C., et al. (2005). Virtual environment cultural training for operational readiness (VECTOR). *The Journal of Virtual Reality* , 8 (3), 156-167.
- Demongeot, J., Elena, A., Taramasco, C., & Vuillerme, N. (2013). Serious Game as New Health Telematics Tool for Patient Therapy Education: Example of Obesity and Type 2 Diabetes. *Inclusive Society: Health and Wellbeing in the Community, and Care at Home* , 7910, 187-197.
- Derntl, M., Neumann, S., & Oberhuemer, P. (2011). Propelling standards-based sharing and reuse in instructional modeling communities : The open graphical learning modeler (openglm). *Proceedings of the International Conference on Advanced Learning Technologies* , pp. 431–435.
- Diamond, A., & Goldman-Rakic, P. (1989). Comparison of human infants and rhesus monkeys on Piagets AB task: Evidence for dependence on dorsolateral prefrontal cortex. *Experimental Brain Research* , 74, 24–40.
- Dieterich, H., Malinowski, U., Kühme, T., & Schneider-Hufschmidt, M. State of the Art in Adaptive User Interfaces. Dans M. S.-H. Malinowski (Éd.), *Adaptive User Interfaces: Principles and Practice* (pp. 13-48). Amsterdam: North-Holland.
- Drachler, H., Pecceu, D., Arts, T., Hutten, E., Rutledge, L., Rosmalen, P., et al. (2009). ReMashed—recommendations for mash-up personal learning environments. *Proceedings of the 4th European Conference on Technology Enhanced Learning* , pp. 788-793.
- Fredricks, J., & McColskey, W. (2012). The measurement of student engagement : A comparative analysis of various methods and student self-report instruments. Dans S. Christenson, A. Reschly, & C. Wylie, *Handbook of research on Student Engagement* (pp. 763-782). Springer.
- Freitas, A. A. (2002). *Data Mining and Knowledge Discovery with Evolutionary Algorithms*. Springer-Verlag New York.
- Frith, U. (1991). *Autism and Asperger Syndrome*. Cambridge University Press.
- Guy, I., & Carmel, D. (2011). Social recommender systems. *Proceedings of the 20th international conference companion on World wide web* , pp. 283-284.

- Gaillard, E., Nauer, E., Lefevre, M., & Cordier, A. (2012). Interactive Cooking Adaptation Knowledge Discovery for the TAAABLE Case-Based Reasoning System. *Workshop Cooking with Computer - ECAI Conference* .
- Garlatti, S., & Iksal, S. (2004). A Flexible Composition Engine for Adaptive Web Sites. *Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems* , 3137, 115-125.
- Garlatti, S., & Iksal, S. (2000). Concept Filtering and Spatial Filtering in an Adaptive Information System. *Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems* , 1892, 315-318.
- Garnier, J., Sehaba, K., Lavoué, M., & Marty, J.-C. (2014). Approche basée sur les traces d'interactions modélisées pour des agents socio-émotionnels dans les jeux vidéo. *Workshop Affect, Compagnon Artificiel, Interaction* , pp. 30-35.
- Garris, R., Ahlers, R., & Driskell, J. (2002). Games, motivation, and learning: A research and practice model. *Simulation & Gaming* , 33 (4), 441–467.
- George, S. (2010). *Interactions et communications contextuelles dans les environnements informatiques pour l'apprentissage humain* . Habilitation à Diriger des Recherches, INSA - Université Claude Bernard Lyon 1.
- Gilliot, J.-M., Garlatti, S., Rebai, I., & Balen-Sapia, M. (2013). Le concept de iMOOC pour une ouverture maîtrisée. *ELAH 2013 : atelier thématique MOOC - Massive Open Online Course - État des lieux de la recherche francophone* .
- Goldberg, D., Nichols, D., Oki, B., & Terry, D. (1992). Using Collaborative Filtering to Weave an Information Tapestry. *Communications of the ACM - Special issue on information filtering* , 35 (12), 61-70.
- Grynszpan, O., Martin, J.-C., & Nadel, j. (2005). Designing Educational Software Dedicated to People with Autism. (A. P. Knops, Éd.) *Assistive Technology : From Virtuality to Reality, Proceedings of AAATE 2005* , pp. 456-460.
- Gray, J. (1987). *The psychology of fear and stress*. Cambridge University Press.
- Izard, C., Hembree, E., & Huebner, R. (1987). Infants' emotion expressions to acute pain : Developmental change and stability of individual differences. *Developmental Psychology* , 23 (1), 105–113.
- Hussaan, A., Sehaba, K., & Mille, A. (2011). Helping Children with Cognitive Disabilities through Serious Games : Project CLES. *The 13th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, ASSETS 2011* .
- Hyoungnyoun, K., & Ji-Hyung, P. (2010). Multimodal user guide for experience sharing based on activity modeling. *MMEDIA '10 Proceedings of the 2010 Second International Conferences on Advances in Multimedia* , pp. 29-32.
- Hanney, K., & Keane, M. (1997). The Adaptation Knowledge Bottleneck : How to Ease it by Learning from Cases. *Proceedings of the International Conference on Case-Based Reasoning* , pp. 359-370.
- Hodhod, R., Kudenko, D., & Cairns, P. (2009). Serious Games to Teach Ethics. *Published by SSAISB: The Society for the Study of Artificial Intelligence and the Simulation of Behaviour* , 9, 6–9.
- Jameson, A. (2001). *Systems That Adapt to Their Users: An Integrative Perspective*. Saarbrücken: Saarland University.
- Karami, A., Sehaba, K., & Encelle, B. (2014). Apprentissage de connaissances d'adaptation à partir des feedbacks des utilisateurs. *25èmes Journées Francophones d'Ingénierie des Connaissances* , pp. 1-12.
- Karami, A.-B., Sehaba, K., & Encelle, B. (2013). Adaptive and Personalised Robots - Learning from Users' Feedback. *IEEE 25th International Conference on Tools with Artificial Intelligence* , pp. 626-632.
- Karami, B., Sehaba, K., & Encelle, B. (2013). Towards adaptive robots based on interaction traces: A user study. *16th International Conference on Advanced Robotics (ICAR)* , pp. 1-6.
- Karsenti, T. (2013). Les MOOC, révolution ou simple effet de mode ? *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire* , 10 (2).

- Keltner, D., & Haidt, J. (2001). Social functions of emotions. Dans T. Mayne, G. Bonanno, & T. M. Bonanno (Éd.), *Emotions : Current issues and future directions* (pp. 192–213). New York: Guilford Press.
- Kivikangas, M., Chanel, G., Cowley, B., Ekman, I., Salminen, M., Järvelä, S., et al. (2011). A review of the use of psychophysiological methods in game research. *Journal of Gaming and Virtual Worlds*, 3 (3), 181–199.
- Knox, B., & Stone, P. (s.d.). Interactively shaping agents via human reinforcement : the tamer framework. *Proceedings of the fifth international conference on Knowledge capture, K-CAP '09*, pp. 9–16.
- Kobsa, A., Koenemann, J., & Pohl, W. (2001). Personalized Hypermedia Presentation Techniques for Improving Online Customer Relationships. *The Knowledge Engineering Review Journal*, 16 (2), 111-155.
- Konert, J., Gobel, S., Richter, K., & Bruder, R. (2011). A social network approach for diagnostic assessment and learning together. *Proceedings of the International Conference on Advanced Learning Technologies*, pp. 350–354.
- Kravicik, M., & Specht, M. (2004). Flexible navigation support in the winds learning environment for architecture and design. In *Third International Adaptive Hypermedia and Adaptive Webbased Systems Conference*, 3137, pp. 156–165.
- Luminet, O., & Vermeulen, N. (2004). Personnalité et psychopathologie cognitive. Dans I. M. Ceschi (Éd.), *Traité de psychopathologie cognitive*.
- Laflaquière, J. (2009). *Conception de traces numériques dans les environnements informatiques documentaires*. Thèse de doctorat en informatique, Université de Technologie de Troyes.
- Lane, H. C., & E. Ogan, A. (2009). Virtual Environments for Cultural Learning. *Second Workshop on Culturally-Aware Tutoring Systems in AIED 2009 Workshops*, pp. 25–34.
- Levine, L. (1997). Reconstructing memory for emotions. *Journal of experimental psychology*, 126, 65–177.
- Ledoux, J. (1992). Emotion as memory : anatomical systems underlying indelible neural traces. Dans S. Christianson (Éd.), *The Handbook of Emotion and Memory : Research and Theory*. Hillsdale, NJ Erlbaum.
- Leontiev, A. (1978). *Activity, consciousness and personality*. Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall.
- Libbrecht, P., Melis, E., & Ullrich, C. (2001). Generating personalized documents using a presentation planner. In *ED-MEDIA 2001-World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications*.
- Little, G., Lau, T., Cypher, A., Lin, J., Haber, E., & Kandogan, E. (2007). Koala: capture, share, automate, personalize business processes on the web. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '07*, pp. 943–946.
- Nigay, L. (2001). *Modalité d'interaction et multimodalité*. Habilitation à diriger des recherches, Université Joseph Fourier - Grenoble I.
- Marne, B., Thibault, C., & Labat, J.-M. (2013). MoPPLiq: A Model For Pedagogical Adaptation of Serious Gams Scenarios. *IEEE 13th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, pp. 291–293.
- Martin, J.-C. (1995). *Coopérations entre modalités et liage par synchronie dans les interfaces multimodales*. Thèse de doctorat en informatique, Ecole Nationale Supérieur des Télécommunications.
- McCrae, R., & John, O. (1992). An introduction to the five-factor model and its applications. *Journal of Personality*, 60, pp. 175–215.
- Miura, M., Kunifuji, S., & Sakamoto, Y. (2007). Practical Environment for Realizing Augmented Classroom with Wireless Digital Pens. *Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems*, 4694, 777-785.
- Michael, D., & Chen, S. (2005). *Serious Games: Games that educate, train, and inform*. Course Technology Inc.

- Milligan, C., Littlejohn, A., & Margaryan, A. (2013). Patterns of Engagement in Connectivist MOOCs. *MERLOT Journal of Online Learning and Teaching*, 9 (2).
- Mody, M., Studdert-Kennedy, M., & Brady, S. (1997). Speech perception deficits in poor readers: auditory processing or phonological coding? *Journal of experimental child psychology*, 64 (2), 199-231.
- Moreno-Ger, P., Sierra, J., Martínez-Ortiz, I., & Fernández-Manjóna, B. (2007). A documental approach to adventure game development. *Science of Computer Programming*, 67 (1), 3–31.
- Moreno-Gera, P., Burgos, D., Martínez-Ortiz, I., Luis Sierra, J., & Fernández-Manjóna, B. (2008). Educational game design for online education. *Computers in Human Behavior*, 24 (6), 2530–2540.
- Obikwelu, C., Janet, R., & Gavin, S. (2013). Children’s Problem-Solving in Serious Games: The “Fine-Tuning System (FTS)” Elaborated. *Electronic Journal of e-Learning*, 11, 49–60.
- Oppermann, R. (1994). Adaptively supported adaptability. *International Journal of Human Computer Studies*, 40 (3), 455–472.
- Ortony, A., Clore, G., & Collins, A. (1988). *The Cognitive Structure of Emotions*. Cambridge University Press.
- Pazzani, M., & Billsus, D. (2007). Content-based recommendation systems. Dans P. a. Brusilovsky (Éd.), *The Adaptive Web* (pp. 325-341). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Parfitt, L., Jo, J., & Nguyen, A. (1998). Multimedia in Distance Learning for Tertiary Students With Special Needs. *ASCILITE, Australasian Society for Computers in Learning in Tertiary Education, Citeseer*, 561–569.
- Peter, Y., & Vantroys, T. (2005). Platform support for pedagogical scenarios. *Journal of Educational Technology & Society*, 8 (3), 122.
- Peters, S., & Leshner, G. (2013). Get in the game: The effects of game-product congruity and product placement proximity on game players’ processing of brands embedded in advergames. *Journal of Advertising*, 42, 113–130.
- Popescu, M., Romero, M., & Usart, M. (2013). Serious Games for Serious Learning Using SG for Business, Management and Defence Education. *International Journal of Computer Science Research and Application*, 3 (1), 5–15.
- Prendinger, H., Descamps, S., & Ishizuka, M. (2002). Scripting the bodies and minds of life-like characters. *Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence*, pp. 571–580.
- Susi, T., Johannesson, M., & Backlund, P. (2007). *Serious Games – An Overview*. School of Humanities and Informatics - University of Skövde, Sweden. Technical Report HS- IKI -TR-07-001.
- Schubert, T., Friedmann, F., & Regenbrecht, H. (2001). The Experience of presence: Factor analytic insights. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 10 (3), 266–281.
- Scherer, R. K. (1987). Toward a dynamic theory of emotion. *Geneva Studies in Emotion and Communication*, 1 (1).
- Schneider, D., Synteta, P., Frété, C., Girardin, F., & Morand, S. (2003). Conception and implementation of rich pedagogical scenarios through collaborative portal sites: clear focus and fuzzy edges. *International Conference on Open and Online Learning*, pp. 1–40.
- Seif El-Nasr, M., Yen, J., & Loerger, T. (2000). Fuzzy logic adaptive model of emotions. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 3 (3), 219–257.
- Sehaba, K. (2005). *Exécution adaptative par observation et analyse de comportements : Application à des logiciels interactifs pour des enfants autistes*. Thèse de doctorant en Informatique, Université de La Rochelle, L3i.
- Sehaba, K. (2011). Partage d’expériences entre utilisateurs très différents : adaptation des modalités d’interaction. *Ingénierie des connaissances*, (pp. 1-16). Chambéry.

- Sehaba, K. (2012). Sharing Experiences between Learners with Different Profiles: Adaptation of Interaction Traces. *12th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2012* , pp. 488-492.
- Sehaba, K., Estrailier, P., & Lambert, D. (2005). Interactive Educational Games for Autistic Children with Agent-Based System. *4th International Conference on Entertainment Computing (ICEC'05)* , pp. 422–432.
- Settouti, L. (2011). *Systèmes à Base de Traces Modélisées : Modèles et Langages pour l'exploitation des traces d'Interactions*. Thèse de doctorat en informatique, Université Claude Bernard Lyon 1.
- Raisamo, R. (1999). *Multimodal Human-Computer Interaction : a constructive and empirical study*. Phd. dissertation, Department of Computer Science, University of Tampere.
- Raquel, A., Jose, E., Jose, M., & Javier, J. (2006). Ecoology : An emotional augmented reality edutainment. *LADIS International Conference on Cognition* .
- Rey, G., & Coutaz, J. (2002). Le contexteur: une abstraction logicielle pour la réalisation de systèmes interactifs sensibles au contexte. *IHM'02 Proceedings of the 14th French-speaking conference on Human-computer interaction (Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine)* , pp. 105-112.
- Recker, M., & Walker, A. (2003). Supporting “Word-of-Mouth” Social Networks through Collaborative Information Filterin. *Journal of Interactive Learning Research* , 14 (1), 79–99.
- Reeves, B., & Nass, C. (1996). *The media equation : How people treat computers, television and new media like real people and places*. New York: Cambridge University Press.
- Reilly, S., Carbonell, J., Simmons, R., Scott, W., & Reilly, N. (1996). *Believable Social and Emotional Agents*. Pittsburgh, PA: School of Computer Science.
- Renaut, C., Batier, C., Flory, L., & Heyde, M. (2006). Improving web site usability for a better e-learning experience. (A. S. Méndez-Vilas, Éd.) *Current Developments in Technology-Assisted Education* , pp. 891–896.
- Ribeiro, C., Lavoué, E., Sehaba, K., Pereira, J., & Baalsrud Hauge, J. (2014). Identifying Engagement with Learning in Serious Games. *L4SG* , pp. 1-8.
- Rich, C., Ponsler, B., Holroyd, A., & Sidner, C. (2010). Recognizing engagement in human-robot interaction. *Proceedings of the 5th ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction* , pp. 375–382.
- Richard, R., & Edward, D. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *The American Psychologist* , 55, 68–78.
- Rouillard, J. (2008). *Adaptation en contexte : contribution aux interfaces multimodales et multicanal*. Habilitation à diriger des recherches, Université des Sciences et Technologies de Lille.
- Romero, C., Ventura, S., & De Bra, P. (2004). Knowledge discovery with genetic programming for providing feedback to courseware authors. *User Modelling and User Adapted Interaction* , 14 (5), pp. 425-464.
- Roseman, I. J., Spindel, M. S., & Jose, P. E. (1990). Appraisals of emotion-eliciting events : testing a theory of discrete emotions. *Journal of Personality and Social Psychology* , 59 (5), 899–915.
- Tadlaoui, M. (2014). Recommandation de ressources pédagogiques basée sur les relations sociales. *Rencontres Jeunes Chercheurs en Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain* , pp. 1-6.
- Tangney, P. (1990). Assessing individual differences in proneness to shame and guilt : Development of the self-conscious affect and attribution inventory. *Journal of Personality and Social Psychology* , 59, 102–111.
- Tarpin-Bernard, F. (2006). *Interaction homme-machine adaptative*. Habilitation à Diriger des Recherches, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon Et Université Claude Bernard Lyon I.

- Tetchueng, J.-L., Garlatti, S., & Laube, S. (2008). A Context-Aware Learning System based on generic scenarios and the theory in didactic anthropology of knowledge. *International Journal of Computer Science and Applications*, 5, 71–87.
- Tiffany, B. (2005). The q-matrix method: Mining student response data for knowledge. *American Association for Artificial Intelligence 2005 Educational Data Mining Workshop*.
- Thevenin, D. (2001). *Adaptation en Interaction Homme-Machine : Le cas de la Plasticité*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble I.
- Tsai, J., Kelley, P., Drielsma, P., Faith Cranor, L., Hong, J., & Sadeh, N. (2009). Who's viewed you ? the impact of feedback in a mobile location-sharing application. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '09*, pp. 2003– 2012.

Partie 3 : Articles

Provided for non-commercial research and education use.
Not for reproduction, distribution or commercial use.



This article appeared in a journal published by Elsevier. The attached copy is furnished to the author for internal non-commercial research and education use, including for instruction at the authors institution and sharing with colleagues.

Other uses, including reproduction and distribution, or selling or licensing copies, or posting to personal, institutional or third party websites are prohibited.

In most cases authors are permitted to post their version of the article (e.g. in Word or Tex form) to their personal website or institutional repository. Authors requiring further information regarding Elsevier's archiving and manuscript policies are encouraged to visit:

<http://www.elsevier.com/copyright>



Contents lists available at ScienceDirect

Simulation Modelling Practice and Theory

journal homepage: www.elsevier.com/locate/simpat

Enhancing synchronous collaboration by using interactive visualisation of modelled traces

Damien Clauzel *, Karim Sehaba, Yannick Prié

Université de Lyon, CNRS, Université Lyon 1, LIRIS, CNRS UMR5205, F-69622, France

ARTICLE INFO

Article history:

Available online 7 July 2010

Keywords:

Modelled trace
Activity modelling
Interactive visualisation
Interaction mode
Collaborative learning environment

ABSTRACT

This article addresses issues related to traces modelling for formally describing human interactions of people engaged in a synchronous collaborative learning activity. The objective is to propose models and tools for representing, transforming, sharing and visualising traces of users' experiences. The traces here represent the users' activities in their interactions with the learning platform. Our proposition is based on reflexive learning defined as the ability to interact with the situation, in order to meet one's own limitations. This work takes place in the ITHACA project which aims at developing an on-line learning platform that uses interaction traces as knowledge sources on, and for, the learners' learning as individuals or groups. In this paper, we propose a general framework for trace management and sharing, a generic model of synchronous collaborative activity based on the notion of interaction modes that we specialized for whiteboard sharing and text chatting, and a conceptual framework for modelling the exploitation of modelled traces, in particular for interactive visualisation on the user side. This article extends our previous work [1] on the instrumented prototypes, by presenting our theorisation of the interactive visualisation of modelled traces.

© 2010 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Synchronous collaborative learning software is increasingly used in various teaching situations: discussion structuring [2], collaborative design [3,4], construction of knowledge [5], etc. Other environments aim to be generic, such as the Platine [6,7] or the Omega+ [8] platforms. These environments provide a set of synchronous tools (chat, shared text editor, videoconference, whiteboard, etc.) and regulation mechanisms, such as control of speech turn, advanced referencing and group awareness. However, they do not provide tools for sharing experience and providing feedback to their users, despite the importance of such practices in learning. Indeed, as pointed out in [9], the challenge today is to provide technology-oriented dissemination of practices and experiences for effective collaborative learning.

The objective of our research is to propose models and tools for representation, treatment, sharing and visualisation of interaction traces in the context of a synchronous collaborative activity. The interaction traces are here defined as histories of users' actions collected in real time from their interactions with the software. The approach we advocate is to use the interaction traces as knowledge sources on, and for, the learners' learning as individuals (reflexive learning [10]) or as groups (collaboration, sharing and coordination). Indeed, the visualisation of traces will allow learners to use their own experiences, the results they produced, and the new knowledge they deduced. In this sense, Masciotra [11] stipulates that by such means,

* Corresponding author. Tel.: +33 0 95 089 00 89.

E-mail addresses: Damien.Clauzel@liris.cnrs.fr (D. Clauzel), Karim.Sehaba@liris.cnrs.fr (K. Sehaba), Yannick.Prie@liris.cnrs.fr (Y. Prié).

URLs: <http://www.liris.cnrs.fr/membres?idn=dclauzel> (D. Clauzel), <http://www.liris.cnrs.fr/membres?idn=ksehaba> (K. Sehaba), <http://www.liris.cnrs.fr/membres?idn=yprie> (Y. Prié).

a learner can ensure the relevance of his approach or readjust his actions. To assert this, we rely on *reflexive learning* aimed at improving student's competences. Such learning is defined as being directed, or turned back on itself, or self-referential.

We consider in our study two kinds of reflexivity. One is individual, and is the perception that a user has on his own activity. It is used for metacognitive processes that allow to understand strategies that might be used for different tasks, the conditions under which these strategies might be used and the extent to which the strategies are effective. For example, learners can know about different strategies for reading a textbook as well as strategies to check their comprehension. The other kind of reflexivity is group reflexivity through awareness, when members of a group want to have a high-level view on their actions; this is done through multiple sharing of different perceptions.

The principle of our approach is, in a first level (collection phase), to observe and store the user's actions in the form of modelled traces. At a second level (transformation phase), traces of meaningful high level to the user are calculated. These high-level traces can be exploited both:

- *in real time* in order to personalize the environment, to encourage collaboration, to increase adaptability within the learners' team, and to ensure awareness of each learner in learning space, and
- *afterwards* in order to provide a feedback on the learner's experience for quality improvement purposes and to enable learners to revise their action in order to fill gaps.

The work presented in this paper is part of our investigation within the ITHACA project¹ (Interactive Traces for Human Awareness in Collaborative Annotation). This project, by its multidisciplinary nature, aims at proposing models, architecture and tools for both the interactive visualisation of traces of a synchronous collaborative activity and the synchronous collaborative annotation of temporal documents (e.g. synchronous films co-annotation). In terms of application, the project focuses on distance learning of French language. In this article, we focus on aspects related to the interactive visualisation of modelled traces.

The article is organized as follows: Section 2 presents and discusses the theoretical foundation of our work. It consists in showing the contribution of traces reflection for learning. Section 3 presents the general architecture of our system. Section 4 presents our proposition for the characterisation of modelled traces. Section 5 details the model we have proposed to represent, to share and to visualise interaction traces in synchronous systems. The informatics framework for interactive visualisation of modelled traces is presented in Section 6. We present in Section 7 our first results, and finally Section 8 concludes and discusses future perspectives.

2. Reflexivity, awareness in synchronous learning systems

Reflexivity plays a central role in theoretical research on human learning, as shown in several studies (see for example [12]). According to [13], reflexivity is defined as the ability to interact with the situation in order to meet its own cognitive and socio-cognitive limitations. Through reflexivity, individuals can exercise control over their cognitive activity and actions, which allows individual and collective self-assessment and constructive criticism on oneself. In the context of human learning, reflexivity can facilitate appropriation and comprehension of the environment for complex tasks. In collaborative activities, synchronicity is one of the key elements that enable the development of reflexivity. Individual and collective reflexivities (specially needed in learning activities [14]) are used to build group awareness, which in turn reinforces synchronous collaboration [15] among participants.

Using the traces of the learner's activity is an effective way to encourage reflection on the learning process. This type of reflection, consecutive to the task called "reflective follow-up" [16], allows the learner to visualise traces of her actions and leads to awareness allowing meta-cognitive regulation. The difficulty with this approach is to detect, to trace, to model and to represent the meaningful actions of the learner [17]. Sherlock 2 [16] is an example of a system using this kind of reflexive incentives. Plaisant [18] used a system that graphically represents the actions performed by the learner using boxes and arrows. Despres and George [19] have developed a system based on traces allowing the tutor to perceive the status of learners' work. Clauzel et al. [20] have proposed a conceptual framework for tracking a learner's activity and attention in order to assist the user in his work. A reflexive method used in ergonomics is to use traces of the operators (via video) as a tool for construction of new knowledge by making the subject face its activity record. Nevertheless, it appears to us that:

1. studies on the reflexive usage of traces of learners' activity in learning environments do not cover the full extent of meta-cognitive activities that such traces allow;
2. traces have not been so far used as such for reflexivity in synchronous environments;
3. the systems that have been developed so far are ad hoc and lack the formal modelling of observables and traces, which would on the contrary allow rapid prototyping and exploration of innovative use of traces. To address such issues, we have proposed a general architecture for explicitly managing traces within the so-called Trace-Based Management Systems, which we will apply in the context of synchronous collaborative learning tools.

¹ <http://liris.cnrs.fr/ithaca> – this project is funded by the French National Research Agency (ANR), it features three labs: LIRIS (<http://liris.cnrs.fr/>), ICAR (<http://icar.univ-lyon2.fr/>) and TECFA (<http://tecfa.unige.ch/>) and the eLycée company (<http://www.eLycée.com/>).

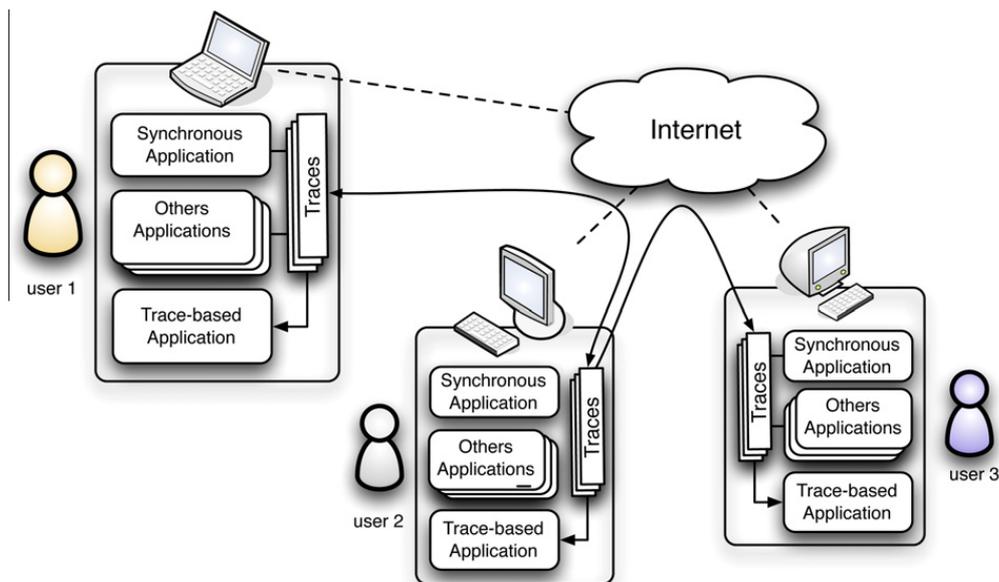


Fig. 1. Traces for individual and collective use.

As a way to facilitate the learners' monitoring in collaborative learning systems, modelled traces can be used to formally describe the learners' interactions with their computer systems and with other members of their activity group. This allows a tutor to know the functioning of his learners, how they progress on an individual and a collective base, and to do precise pedagogical interventions [21]. The models we present further down this article describe our way of formally describing generic collaborative learning activities, illustrated by an example model with its corresponding naive implementation.

3. General architecture for synchronous collaborative traces

3.1. Traces in synchronous collaboration

Our research team² has been working on traces for several years, building applications and studying various usages [22,23]. As illustrated in Fig. 1, our approach supposes that (1) some of the user's interactions with her applications are traced and (2) personal traces can be further reused within the so-called trace-based applications, providing individual services such as:

- *interactive visualisation*: the user can explore, query, annotate one's trace, for instance, for direct activity reflexivity (online), or for exploring one's past history (offline);
- *trace-based assistance*: for instance, the adaptation of the learning scenario.

The synchronous tools always already offer a basic native online group reflexivity that is related to the very scope of such tools (e.g. if somebody is writing on the whiteboard, what he writes is *intended* to be shared). There also exists a second kind of reflexivity, related to the extension of the application with "parallel" activity indicators (e.g. when Skype tells the user that "John is typing", it adds a sense of awareness of what John is doing apart from the chat message that will likely arrive on the screen). We want to go beyond this second kind of group reflexivity, by considering traces *as such* and *apart* from the main synchronous application. This will allow us to extend the use of one synchronous tool (1) with activity related to the tool itself (e.g. muting the sound can be part of the shared trace); (2) with activity related to other tools, be they asynchronous (e.g. sharing the use of a word processor during the session) or synchronous (e.g. extending one's whiteboard trace with part of one's visioconference activity).

For this, we consider as illustrated in Fig. 1 that a user can share and stream his traces to the trace bases of other users, who are then able to use shared traces plus their own personal traces within their trace-based applications. It becomes possible that the user will be aware of the activity of his group's members and to situate his activity within the group. Sharing of traces can also be symmetric or asymmetric, depending on the activity or the status of the users. For instance, user 1 and user 2 can fully exchange their activities as peers, while user 3 as a tutor could be aware of user 2 activity as a pupil, the reciprocity being false.

² SILEX (Supporting Interaction and Learning by Experience): https://liris.cnrs.fr/equipes?id=44&set_language=en.

3.2. Trace-Based Management Systems

The general goal of our team being to make traces first-class citizens of computer systems (as for instance files are), we had to define precisely what traces are and how they were to be manipulated. For that, in [24] we defined the notion of *Trace-Based Management Systems* (TBMS) as systems devoted to the management of *modelled traces*.

A modelled trace is a trace explicitly associated with its *trace model*. A trace model is an ontology that describes the vocabulary of the trace. A trace results from the observation of the interactions between a user and her system, it has a temporal extension related to the time of the observation. A trace is composed of *observed elements* (or *obsels*) representing the interaction between the user and the system. Each obsel has a set of attributes/values that are related to the temporal extension of the trace (e.g. it can be related to an instant or a temporal interval). As shown in Fig. 2, a trace can contain relations between obsels (e.g. T_4). A trace model is then a set of *observed element types* and *relations types*, as M_1 and M_2 respectively describe the obsels of T_1 and T_2 .

Modelled traces are managed by *Trace-Based Management System* (TBMS). The process of *collecting* is that of creating a first modelled trace – called *primary trace* – from several sources. The traces can be used in various ways (visualisation, assistance, adaptation, etc.) within dedicated applications. These applications can take advantage of two main services provided by a TBMS. A trace-querying service is dedicated to retrieve traces from the trace base according to various criteria. More interesting is the *transformation service*, whose role is to operate transformations on traces. Indeed primary traces originating from the collecting may not have the right abstraction level for the target application (e.g. one wants to visualise a high-level trace showing the realization of “answering an exercise” instead of the low-level, primary trace describing “using a web browser”), or there may be traces from several applications that should be considered together, etc. The TBMS can then transform one or several traces according to a transformation τ resulting in a new trace in the base. Fig. 2 shows a primary trace T_1 , transformed by *selection* into T_2 according to τ_1 and T_3 according to τ_2 . T_2 is transformed by *rewriting* into T_3 according to τ_3 . A transformation by *fusion* (see Fig. 3) consists in copying all the obsels of two or more traces into a new one.

A complete formalization of our metamodel proposal for traces models, traces, queries and transformations can be found with precise semantics in [25]. We are currently developing an open-source TBMS that implements such metamodel.

3.3. Synchronous collaborative traces

So as to adapt to the synchronous collaborative framework of the ITHACA project context, and to the uses we foresaw, we somewhat extended the notion of TBMS (see Fig. 3). At the architectural level, if users do have a personal TBMS for managing their own traces, they should also be able to manage other's shared traces. Inter-TBMS communication is then needed so as to be able from one side to share traces, and from the other side to collect shared traces. At the metamodel level, we also needed to be able to manage in one single trace base personal traces and other's traces. For that we introduced the notion

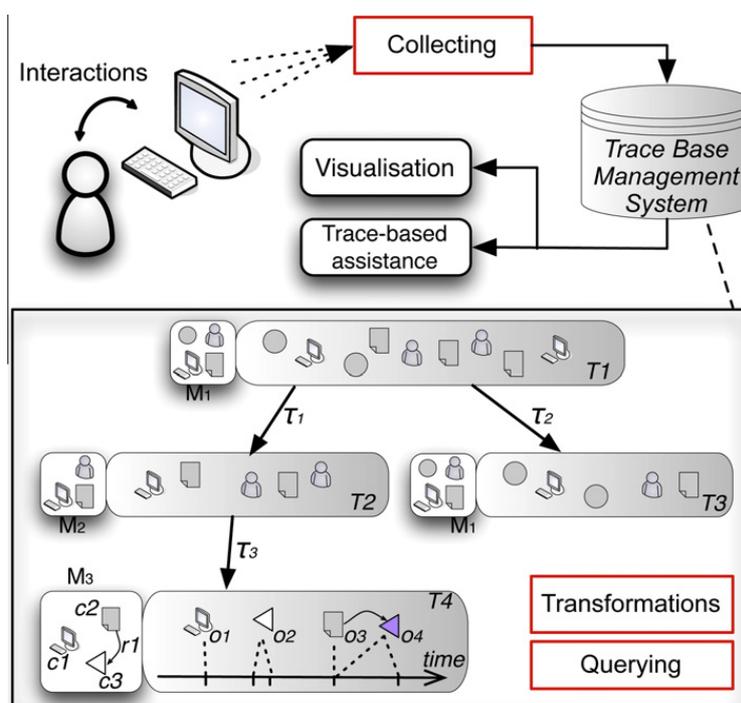


Fig. 2. A Trace-Based Management System framework for using modelled traces. The example trace T_3 is somewhat detailed: the trace model M_3 contains three obsels types (c_1, c_2, c_3) and one relation type (r_1). T_3 contains four obsels: o_1 and o_3 are related to instants, while o_1 and o_4 are related to intervals. There is a relation between o_3 and o_4 . A TBMS offers query and transformation services.

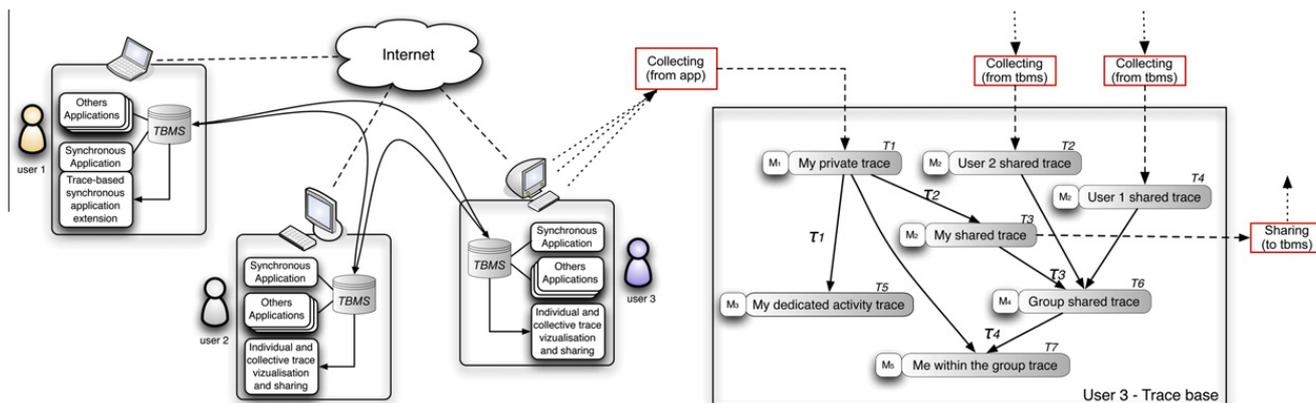


Fig. 3. Left: general architecture for individual and collective trace visualisation and sharing. Note that user 2 and user 3 have a separate trace-based application, while user 1 has a more integrated trace-based extension of the synchronous application. Right: the trace base of user 3. This base contains the primary trace T_1 of user3, which is abstracted/rewritten by τ_1 into the trace T_5 that is more adapted to the representation of a user 3 high-level activity. T_1 is also modified into T_3 by selecting obsels that user 3 wants to share. User 1 and user 3 have shared their traces, and a fusion transformation τ_3 is used to build a common “group trace”. User 3 can then use τ_4 so as to build a trace adapted to the visualisation of her activity within that of the group.

of the *subject* of a modelled trace, who is the user that was observed during the collect. For instance, the subject of T_1 , T_3 and T_5 (My private trace, My shared trace, My dedicated activity trace) is user3, while the subject of T_2 (User 2 shared trace) is user2. The subject of T_6 and T_7 is the triple (user1, user2, user3).

As it is not the main subject of this article, we will not go deeper into trace-based systems theory. We will neither address privacy issues related to trace exploitation, which is a complex question overcoming widely the scope of the work we present here. Let us just state that we are aware of the question and that we ensure in all our developments that the user be provided with full property and control of the diffusion of her trace. The remainder of the paper is devoted to presenting our trace models for synchronous collaboration and our first developments.

4. Characterisation of modelled traces

One of the finalities of collecting modelled traces from the user’s activities is to loop back to him for providing support, guidance, automation, for short anything that can improve his computer-based work. Such exploitation of the modelled traces requires not only just the traces’ models but also a trace exploitation framework that will allow the user to express his uses of his own traces. In this sense, among the exploitations of modelled traces that we consider in this work is the interactive visualisation of traces. In this context, we are particularly interested in determining the properties of the modelled traces that are important in the visualisation process. It consists in determining the way in which a trace can be visualised according to its characteristics. In this section, we present first the characteristics of the modelled traces we have defined. Then we describe the aspects related to the purpose of exploiting the modelled traces.

Fig. 4 describes the general architecture of a learning system using modelled traces, with emphasis on the interactive visualisation aspect. The learner interacts with his enhanced learning software. The software collects the users’ interactions and sends those data to the trace-based management system. Inside the TBMS, the modelled traces are dispatched to the software components that uses the modelled traces. In our case, the modelled traces describing the user’s interaction are sent to the trace-based assistant in charge of presenting those traces to the learner. The purpose being to support the learner in his analysis of his own activity. For doing this, the learner interacts with his assistant in order to construct an adequate representation of his activity’s trace.

4.1. Elements of characterisation

We identify the following characteristics of a modelled trace. These characteristics are used for discriminating modelled traces and reasoning on their exploitation:

Number of obsels: How many obsels are present in the modelled trace. In terms of cognitive load (for visualisation) or manipulation (for scripting the computer environment), providing the user with just a few obsels is very different from giving him a lot of them.

Number of obsel types: How many types of obsels are present in the modelled trace. The more the type of obsels in a modelled trace, the more complex it is to process, to visualise, and to manipulate. Some trace exploitations require a very strict range of obsel types, because of the user profile (age, capacities, ...) or his activity.

Nature of obsels temporality: How the obsels are inscribed in time. There are two possible kinds of temporality for an obsel: instant and extended. An instant (or punctual) obsel is located at a precise moment in time, while an extended obsel covers a time span.

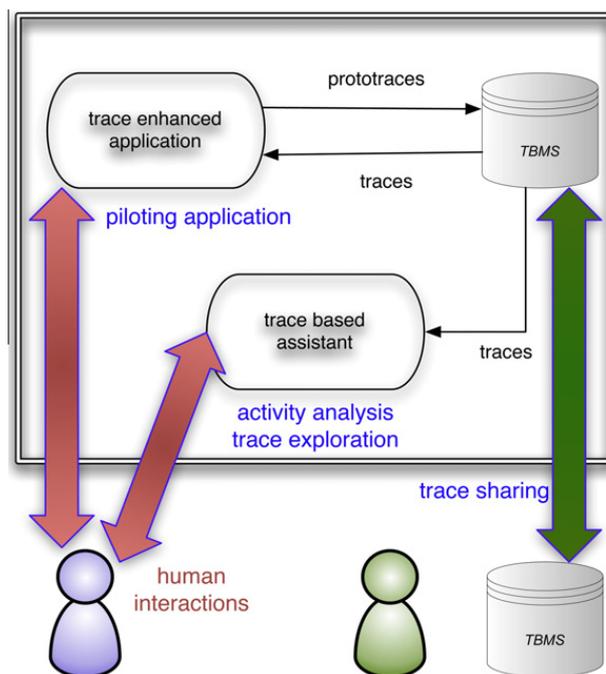


Fig. 4. Subpart of the global architecture, showing the interactive visualisation components.

Number of relations: How many relations are present in the modelled trace. This has an impact on the trace complexity, because for understanding and processing an obsel we have to analyse as well the other obsels that it is connected to.

Type of relation: Two possibilities here: a relation can be between two obsels of the same type, or between obsels of different types.

Number of relation types: How many types of relations are present in the modelled trace. The more the type of relations, the more needy is the process of a modelled trace.

Direction of relations: This characteristic is about the relations between obsels. Depending on the traced activity, we can have in a trace two kinds of directions for relations. The directions of the relations have a deep impact on the exploitation of a modelled trace. For example, in a trace in which all relations go toward the past, we know at any given time that no relations are left pending (that is, with only an origin and no destination because the closing obsel has yet to come). In a trace with mixed direction for relations or relations that go only toward the future, we have to handle the dangling relations and ensure that when the trace is closed all the relations are in a complete state.

Unidirectional: The relations go only toward the future or toward the past.

Mixed: The relations go in a combination of both directions.

Nature of the trace's temporality: The trace's temporality can be of two kinds. One is contiguous, that is the obsels can be seen as belonging to a single time span. The other one is fragmented, and the trace contains episodes of obsels, separated by intervals. For example, a contiguous trace can be a trace of a work session for a learner, and a fragmented trace would be a trace describing a semester of a learner's work sessions. In the second case, the obsels will be grouped within the trace's temporality, according to the trace's time reference.

Nature of the trace's reference of temporality: For a given specification of a trace's temporality, we identify two aspects:

Time nature: The time nature of a trace can be natural or conceptual. Natural time is the time expressed by the usual human definition, where the conceptual time is defined by other mean within the activity (milestones in a process, event-based clocks, etc.)

Temporal reference: The temporal reference of a trace can be relative or absolute. Absolute compared to a time-located event (date, for example); relative to another obsel: before/after another obsel. In the second situation, we may know the relative position of the obsels within the trace, but not their corresponding location in time.

Length of trace: The time length of the modelled trace expressed within the time reference of the trace.

Nature of trace's subject: The nature of the trace can be of three kinds: unique (a single subject), complex (a group of individual) or mixed (a combination of individuals and group via subject's reification).

Nature of the number of subjects in the trace: At any given time within the modelled trace, the number of subjects can be different. The nature of this number has various consequences on further uses of the trace, because it allows us to eventually make some inference about the actors of a traced computer-based activity. The number of trace's subjects can be known or unknown, fixed or open.

Nature of obsel's attribute: The attributes of an obsel can be of any type, and not just text: image, sound, video, complex object (including another modelled trace). Therefore the nature of each attribute has a deep impact on the processing of the obsel, as some type of data can be opaque for a computer and only understandable by a human.

Nature of trace: When in the TBMS, a trace can have different possible origins and be classified as such:

Primary trace: We call “primary trace” as all the traces directly issued from collect. By definition, a primary trace need not be transformed.

Computed trace: We call “computed trace” as all the traces associated to an automatic transformation and to an ensemble source traces, automatically computed by the Trace-Based System and updated along the evolution of the source traces. These traces can be compared to the views of a traditional relational database system.

Stored trace: We call “stored trace” as all the traces stored into a Trace-Based System (by opposition to computed traces). A stored trace can be a primary trace, a manually transformed trace, or a computed trace that has been frozen in a state at a given time.

Conjoint trace: We call “conjoint trace” as all the traces having a multiple subject. A conjoint trace is generally constructed by temporal fusion of two traces having different subjects.

Enriched conjoint trace: We call “enriched conjoint trace” as a conjoint trace in which one of the subjects had been added to a conjoint trace. Therefore, it is a definition based on the enrichment process of a trace. A conjoint trace can only be recognized as enriched if we take into account the transformations that have been applied on it. The most classic case of enrichment is when one adds to a conjoint trace, constructed by fusion of two traces having for subjects x and y , some obsels about subject (x,y) , or some relations between obsels having different subjects.

State of trace: A trace can be “open” or “closed”. We call “closed trace” as a trace that is no more a target of obsels collection; an “open trace” is a trace that is still augmented by new obsels and relation.

4.2. Purpose of the exploitation

As a knowledge source, traces can be exploited by both human users and computer systems. Indeed, traces can be used as tools to control the interactive applications, to generate adaptive learning scenarios or to assist the learner in his/her learning activities. Our research is focused on the use of traces by human users. In this context, the interest of the exploitation is mainly on the production of resources/documents that help the user to understand the activity of the different actors of synchronous collaborative learning. This interest is both for designers, tutors and learners.

The trace allows the designer to detect the emergence of new uses made by the tutor and the learner, and to assess the suitability of a resource in a learning situation, e.g. the number of aid applications and assistance. The trace allows monitoring of the learner, e.g. the number and duration of consultations of the course. It also allows the assessment of the level of collaboration among learners, e.g. the number of messages posted on a forum.

The information contained in the interaction traces is part of the use of the learner. By having its own traces, the learner should be better able to take its environment and therefore adapt their work. Indeed, the visualised traces will allow learners to ponder the experiences they lead, the results they produce, and the knowledge they conclude. By this means, the learner can ensure the relevance of his/her approach or to readjust his/her actions.

In order to provide an adapted visualisation to each actors of the synchronous collaborative learning system, the system will represent the profile of each actor. In addition to the role of each actor in the learning system (tutor, designer or guardian), the profile should represent the preferences and knowledge of users. It is according to each profile as the visualisation or actions on the visualisation are adapted (some actions are valid only for designers, others only for tutors, etc.).

As a conclusion, the description of the modelled trace we presented in this section allows us to characterise each trace, so we can reason on what kind of treatment is doable on it, and how it will have to be done. Inasmuch as the model of a modelled trace allows us to reason on the trace’s meaning, it does not inform us on the trace’s content when it comes to the presence of obsels and relations. Both the model and the internal knowledge of the trace’s content are necessary for further processing a modelled trace, specially when it comes to synchronous collaborative activities.

5. Trace models of synchronous collaborative activities

5.1. Interaction modes and tools

In its most generic aspect, we consider that a synchronous collaborative tool is a computer environment allowing a group of persons to realize an activity together and at the same time, while depending on each other. Such an environment can be composed of several software components that support group regulation, communication and production. Synchronous collaboration is supported by interactions happening in shared workspace, written discussion, video conferencing, etc.

To take into account the variety of synchronous tools and activities, we propose to define an “interaction mode” as a means for a user to interact with another user, as an established practice of interacting through a computerized channel.

We identify the following interaction modes in synchronous collaborative activity:

- Sharing a whiteboard: participants can draw, write, insert resources, etc. Example of a tool implementing such interaction mode: Dabbleboard.³

³ <http://www.dabbleboard.com>, <http://gobby.0x539.de>, <http://www.skype.com>, <http://icq.com/>, http://www.eLycee.com/what_is_elycee/eMediatheque/, http://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_Network_Computing.

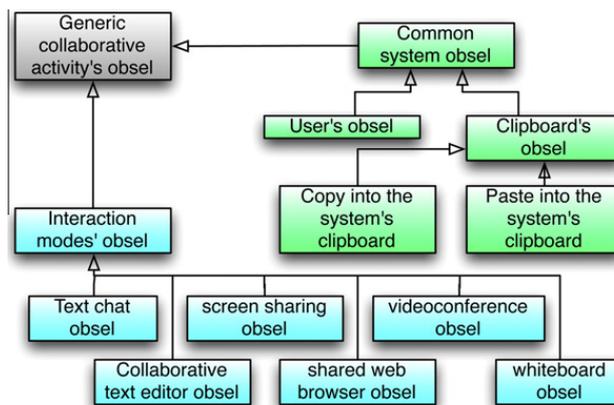


Fig. 5. Structure of the generic trace models for synchronous collaborative activities; specific obsels are not all detailed here.

- Collaboratively editing a text: sharing a writing area. Ex.: Gobby.³
- Videoconferencing. Ex.: Skype.³
- Text chatting. Ex.: Skype or ICQ.³
- Co-browsing: several users can engage in a common browsing session, sharing URI, pushing pages, etc.; Ex.: eMédiathèque.³
- Screen sharing: remotely viewing and controlling a distant computer; Ex.: VNC.³

Of course, an interaction mode can be used in combination with other ones (e.g. videoconferencing and sharing a whiteboard). Also, there is not always a strong connection between a software and the interaction modes: an application can implement several interaction modes. For example, Skype (voice and video) instantiate a videoconferencing interaction mode, but also a text chatting interaction mode.

5.2. A generic model for synchronous collaborative activity traces

In Fig. 5, we introduce a generic model of traces in a synchronous collaborative activity, built upon a description of a generic synchronous collaborative environment. The purpose of this model is to propose a way to formally describe any synchronous collaborative activity. Our approach is based on a modular decomposition of the activity description: the model is composed of several sub-models related to interaction modes and one sub-model related to the whole activity.

The obsels are organized within a specialization hierarchy. At the top level is the generic obsel from a synchronous collaborative activity, describing that the user has made a temporally situated interaction within the traced computer-based environment.

There are two main parts in this generic model of the synchronous collaborative activity. The first one (bottom in Fig. 5) deals with the various categories of interaction modes. The second one (top right in Fig. 5) focuses on global interactions. It contains obsels for describing the participants of the synchronous collaboration, particularly the user and her actions that are not specific to a precise interaction mode, but global to her computer environment like copy and paste, etc. Such an approach gives us the possibility to express transmodal relations between obsels. For example, one can think of doing a copy from a text chat for pasting it onto a whiteboard. We designed our model such that neither the copy nor the paste interactions belong to a specific interaction mode, but belong to the common computer environment.

Each of the interaction modes is described, in a generic manner, by a specific interaction mode model. This model can be further specified for matching the precise feature of applications, and extending for supporting new interaction modes. We detail here two interaction modes: the *whiteboard sharing* model and the *text chatting* model.

5.2.1. Whiteboard sharing model

Fig. 6 shows our modelling of a generic whiteboard software. It allows us to describe the user's interactions with any kind of whiteboarding software. We identify two generic kinds of objects, "text" (such as typed by user) and "shape" (everything else); the generic actions being to create, to alter and to delete them.

The "content" obsels' attributes have complex types, specific to each whiteboard application. They contain data about objects such as position, shape, colour, and textual content.

The model is expandable. One can think for instance of extending it for integrating a semantic aspect, if the software allows it, with a new obsel *text correction* describing the action to fix a spelling mistake in a text, without altering its meaning, and a new relation *is linked to* linking together two connected elements, them being text or shape.

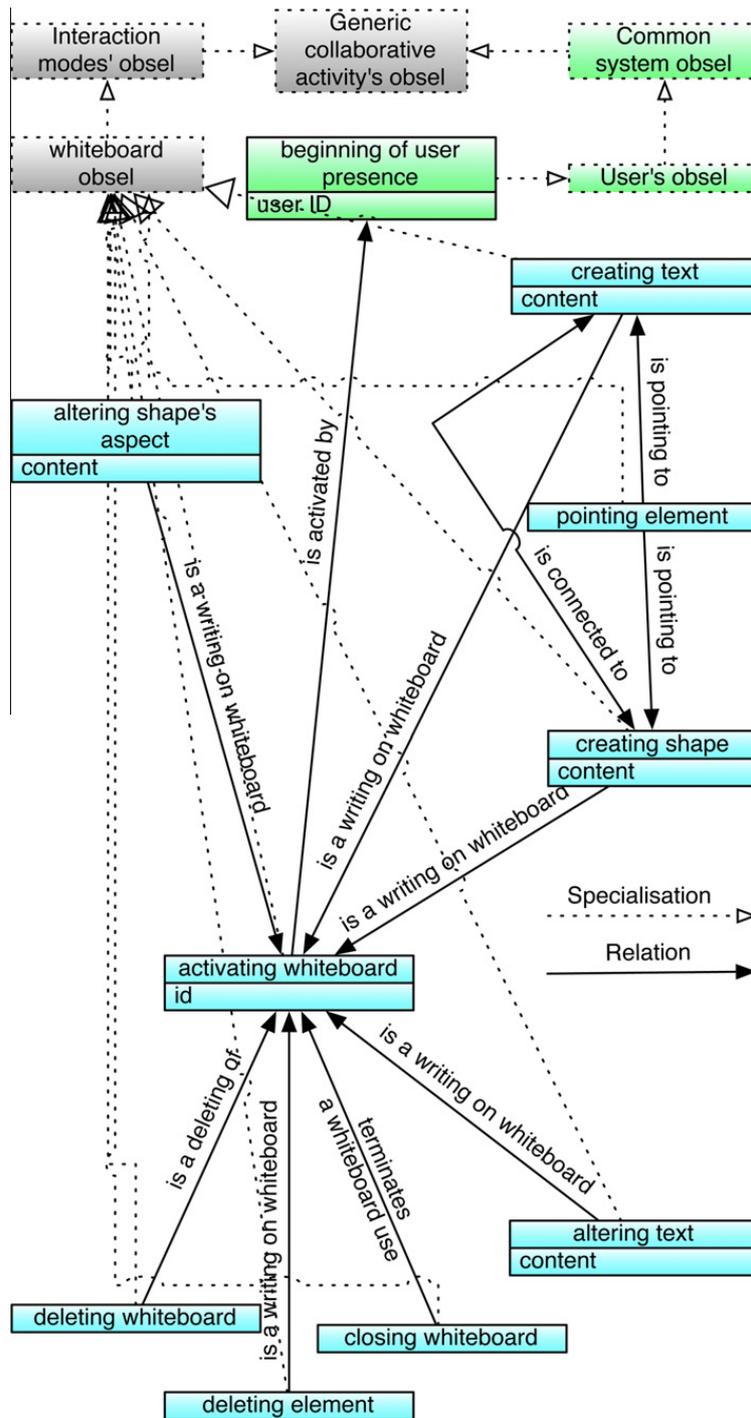


Fig. 6. Generic model of whiteboard user interactions; attributes are not all detailed here.

5.2.2. Text chatting model

Fig. 7 shows our modelling of a generic text chat software. It allows us to describe the user's interactions made in any kind of text chat software. The central obsel is *chat channel activation*; it represents a conversation channel for the user, and therefore contains in its attributes all the global informations about this precise conversation. The obsels in relation to this channel, such as sending and reception of messages, rely on it for contextualisation.

This model is also expandable. One can think to immediately expand it in order to add the concept of "conversation", with the relation *is an answer to* linking two messages, the second being a direct answer to the first one. Such an extension relies on being capable of automatically analysing the structure and content of a chat channel for inferring such relation.

We could also have added a relation describing the link between a user and a chat channel; but this relation is non-trivial because software or communication protocols do not always announce the user's presence, except when he is talking (before that, they are *invisible* for a newcomer). That is why we do not include this relation in our generic model.

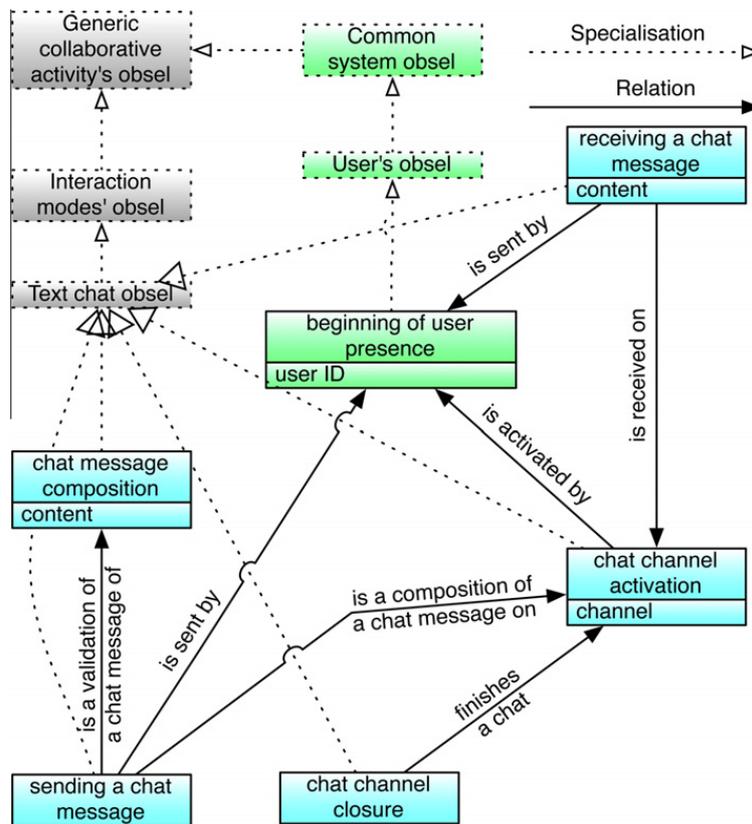


Fig. 7. Generic model of text chat user interactions, attributes are not all detailed here.

5.3. A synchronous trace example

As a concrete example, let us imagine the following situation: Alice, Bob and Charlie are three learners engaged in a synchronous collaborative activity. Their work is to search the web for precise informations, and to collect useful resources for future work. For doing this, they use a shared web browser. They have a chat for communicating, and the result of their searches is organized onto a shared whiteboard. Alice, Bob and Charlie all have a TBMS on their computer, and are tracing their software. They share altogether their activity's traces, allowing everybody to know what the others are doing.

In this example, we are following Alice and her trace. On her computer, besides her usual applications, Alice has a software component that allows her to visualise, to manipulate and to share her activity's traces. This software allows her to see what she has and the members of her group have done. The precise features and behaviours of this tool are defined by Alice's teacher.

The example scenario is the following: first, Alice logs into her activity environment and discovers that Bob and Charlie are already here. She displays the activity's whiteboard and opens her web browser. She goes on the chat and reads the messages from Bob and Charlie. Bob finds in his web browser an interesting resource and pushes the page to Alice and Charlie. Then Alice writes on the chat that she will collect this resource; Charlie answers OK. So, Alice copies the web resource's URI into her clipboard; after that she pastes the URI onto the shared whiteboard as a new text. She then closes the whiteboard, the chat and the web browser and stops working.

There are several possibilities for presenting a trace to a user: literal text, graph, timeline, etc. These possibilities are discussed in the next section. For the current example, we focus on Alice's trace with a timeline visualisation (see Fig. 8. Alice's trace is represented here with a timeline approach, on which are placed all the obsels of her personal trace. Each interaction mode (common, text chat and whiteboard) is displayed in its own colour for clarity. The relations, such as specified in the trace's model, are displayed as oriented arcs connecting the obsels.

5.4. Requirements for trace visualisation

Presenting a trace to a user is not a trivial task, first because of the temporal nature of a trace (a trace can cover periods ranging from minutes to months), and second because of the complex information it contains. As stated in Section 3.3, we are currently engaged in a process of identifying the various characteristics of modelled traces, in order to define how to sustain individual and group reflexivity with trace sharing and visualisation in realtime.

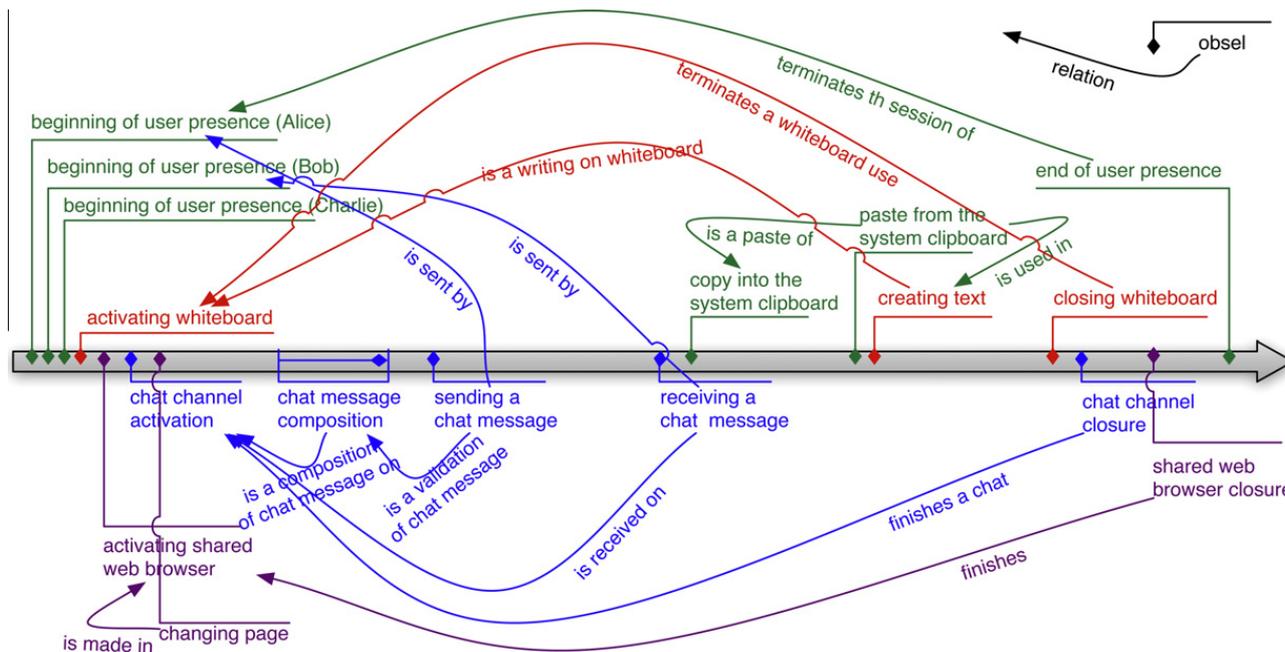


Fig. 8. Alice's activity trace.

For the moment, we have defined general simple principles that we will gradually improve with the results coming from our prototypes. Among them, we state that a software for interactive visualisation of traces must support the following properties:

- selecting the trace(s) to visualise;
- browsing of traces according to various characteristics: time, obsels' types, etc.;
- choosing among several visual renderings for interacting with traces;
- applying transformation on traces: fusion, filtering, etc.;
- selecting obsels for further work (refactoring, export, etc.).

There can be several visual renderings of a trace. One can choose to explore a trace using a natural text rendering approach, while another would prefer a graph with a fisheye for details, or a timeline, etc. The strong decoupling of the trace's visualisation from its content implies to propose to the user some tools for managing the representation methods (at least obsels selection).

As we are working on visualisation of shared traces in synchronous collaborative environments, our main objective is to be able to share and to visualise traces on individual and collective bases. We also need to be able to visualise collections of past traces (such as the ones concerning finished activities) in order to analyse and to share *past* activities.

Concerning the synchronous collaborative aspects on traces visualisation, our needs are therefore the following:

- Sharing and accepting traces: for providing group awareness in a trace-supported synchronous collaborative activity, being able to share traces is critical. It must be doable on an individual or collective base, after selecting or constructing the very traces that are going to be shared.
- Sharing and accepting traces presentation styles: as traces visualisation relays on rendering definitions, those can be shared as well among the activity participants in order for them to have a common representation of activity's traces.
- Sharing and accepting traces transformations: in the same way as for the traces and presentation style sharing, users must be able to share and to accept traces transformations.
- Partaking of group trace: for achieving group awareness, a user must be able to collect information from the actions of the other members of his group. This is done by trace sharing, where each member of the group partakes trace(s) of his interactions with the rest of the group. Every user then has the possibility to collect and process those traces, via transformations, for producing a personal meaningful trace describing the global group activity.

6. Informatics framework for interactive visualisation of modelled traces

In this section we describe the technical elements used for construction an interactive visualisation of a modelled trace. We present here our approach to propose to the users the modelled traces they produce during their synchronous collaborative learning activities. We use the work of [26] for identifying the needed visualisation techniques; our objective being to do this later through a systemic approach.

The goal is to associate a “visualisation style” to a modelled trace, or a set of modelled traces, in order to provide an adapted visualisation to the user. A visualisation style for traces is composed of at least one entity (the visual structure), and its associated computer widget. Each entity of trace is associated to a widget rendering, and all the widgets associated to a given trace provide a complete visualisation style of trace. Naturally, the choice of a particular visualisation style is determined according to the characteristic defined in Section 4.

So a complete visualisation style for modelled traces is composed of: a visual structure, some visual modalities, some visual accents, and some possible interactions. The visualisation styles are stored into files, and can be shared between users; for example, the members of a group engaged in a synchronous collaborative activity can decide to share a visualisation style in order to have a common representation of their activity. We present here the general description of our framework for constructing an interactive visualisation of a modelled trace, and we conclude this work by defining the first criteria for a simultaneous interactive visualisation of modelled traces.

6.0.1. Visual structures

The visual structure is the framework on which is built the rest of a visual and interactive representation of a modelled trace. It defines the structure that provides support for the positioning of trace's elements (the relations and the obsels, with their attributes). Depending on the visual structure, some interactions with the trace's elements will be made easier and the traces will be more understandable. Currently, based on the work of [27], we selected the following visualisation structure for working with the traces produced by our prototypes:

Temporal band: This representation emphasises the temporal aspect of a modelled trace, by placing on a structure the trace's obsels according to their time references and time length.

Wheel: Here, obsels and relations are put on a wheel structure, looping indefinitely as time progress. This representation puts emphasis on parallelisms between obsels while respecting a space constrained allocation.

3D space: This method is mostly used for traces exploration. The traces to visualise are rendered into a three-dimensional space. This allows us to create a graphical representation of traces based on three dimensions that we want to compare (for example: the traces' subjects, the obsels' types, and the time).

Time slices: The approach of this representation is to explode the trace's temporality into time slices for constructing a discrete collection of the trace's obsels. A slice being an atomic time span where obsels are spatially grouped according to their properties. Navigation among the time slices provides the chronology.

Synthetically rendering: The trace's content is processed to produce an abstract representation. The form can be a collection of statistical data, a synthetic summary, a preview of the first and last obsels, etc.

6.0.2. Visual modalities

The modality of visualisation is the approach used for presenting to the user a trace's element. We are using the following two modalities:

Shape: The various elements to represent in different manners are associated to a different shape. The shapes can be simple geometrical forms (circle, square, triangle, ...), or chosen within a collection of icons associated to a meaning (an eye for reading, a pen for writing, an arrow for a movement, ...).

Colour: We assign a different colour to each element's type to represent with this modality.

6.0.3. Visual accents

We call “visual accents” the graduations applied to a modality of visualisation, in order to differentiate the various elements. Currently, we use two types of visual accents:

Alteration accent: For a given modality (colour, form, etc.) used to visualise a type of trace's element, we can apply a slight graduation in order to provide differentiation. This can be made on colours (lighter or darker, shift in colours' palette, ...), on size (shorter, bigger, with italic, ...) and on every possible variation of characteristics.

Texture accent: The textural accent is about applying a change on the rendering of elements for a trace visualisation. While the “shape” and “alteration” change the nature and the size of an element, the “texture” accent provides a way to graduate the intensity of the element aspect. The textural graduation can be achieved by overlay badges, patterns and everything that can help to discriminate a general rendering of a visual element.

6.0.4. Interactions

One of the important aspects of in a learning activity is the metacognitive process that a learner has to go through. Visualising the trace of his own activity supports the learner in this work, specially when the learner has the possibility to manip-

Table 1

List of the possible interactions on the trace elements, without taking into account the specificities imposed by the visualisation structures.

Possible actions on obsel	Possible actions on an trace	Possible actions on relation	Possible actions on trace visualisation
Examine	Delete	Examine	Navigate in the same level
Delete	Apply a transformation	Delete	Choose the obsel to visualise
Modify	Share	Modify	Add an obsel
Compare	Accept a shared	Compare	Add a relation
–	Compare to other trace	Follow	Mark a moment
–	Visualise	Back	Mark an obsel
–	Stop a visualisation	–	Mark a relation
–	Change a type of visualisation	–	Share a visualisation rule (type, current location, etc.)

ulate this reflexive representation in order to adapt it to its own needs. The interactive aspect of the visualisation allows the learner to adapt the visual representation of his activity, so it can match his mental representation. We list in Table 1 the doable interactions on the various elements of the interactive visualisation.

6.1. Simultaneous visualisation of traces

When doing activity analysis or exploration, one can want to look at several modelled traces at the same time, for doing comparison, parallelism, etc. In simultaneous visualisation, the traces have to be synchronised in order to share the same referential. The traces can have their own different models and described distinct human interactions, but they need to be matched again at least one common characteristic. Currently, we identify the following matches:

Temporality: The traces have the same nature of time, so they can be aligned on a shared time scale. This allows us to create a common time-based representation.

Subject: The traces have the same subject, so they can be aligned on a shared user description. This allows us to create a unified representation of a user activity by combining different approaches for describing human interactions.

When two traces to visualise are connected by a transformation (that is, a transformation is applied to the first trace in order to produce the second trace), there is a need to put some emphasis on two aspects:

The first aspect to highlight is, in the second trace, the ensemble of obsels and relations resulting from the transformation. By putting emphasis on those elements, we can help the user to see the connections between the traces and how the transformation process is applied.

The second aspect to take care about is the temporal synchronisation between the traces. As the second trace, resulting from a transformation, is a more abstract view of the situation described by the first trace, they both share the same temporality (reference and time span).

7. Results and evaluation

Our work is currently at the end of a conceptual phase. We did lay down the theoretical approaches and are moving toward a working implementation. For now, our goal is to finish implementing the software components as a first proof of concept. This will demonstrate that it is indeed possible to have a collaborative learning system enhanced with modelled traces, matching our formalisms. After that, we will improve the software in order to be able to run some experiments with them, and see what is the impact of our approach on the cognitive works of a group of people engaged in a collaborative activity.

As a first implementation, we have extended the WeeChat IRC client for trace collecting and implemented a first tool for trace visualisation. Thus, the developed application allows us to get the collected modelled traces, sent by the TBMS under the RDF-XML format, then to extract data from the traces (the types of obsels, the relations, ...) and to visualise them in order to allow the user to interact with an abstract representation of his activity.

Our first informal tests with such an approach, run on ourself, give quite interesting results on the modelling and the architectural side: our first graphical visualisation tool is operational and is currently being extended with more user-related functionalities. We are already able to recognize particular moments (such as a series of technical glitches causing user disconnections and reconnections, or a rapid exchange of questions and answers) of a past chat session. But our visualisation software is actually not good enough for doing a precise reading of an unknown activity.

Our short-time goal is to test the usefulness of our software in real synchronous communication situations. In the ITHACA project, our current objective is to integrate as a plug-in the generic module of trace management in two Technology Enhanced Learning (TEL) platforms (French learning/general school support), and to adjust the modelling and instrumentation for tracing the various collaborative tools, while building dedicated trace visualisation tools adapted to the specific learning tasks of these TELs. A special effort will be devoted to a precise study of the trace transformations that will be needed so as to reach adequate levels of abstraction.

8. Conclusion and future work

This article presents a model of traces dedicated to synchronous collaborative activities. Our research is based on awareness, meta-cognition, self-perception and reflexive learning in order to improve students' skills as an individual or as a group. It consists in proposing tools allowing the user to visualise and analyse their own experiences, the results he produces and the knowledge deduced.

The general principle of our method is to observe, by various means, the user's actions and to represent them in structures called *observed elements*. Thus, we have presented a general framework for using modelled traces (based on observed elements) and the trace base management system. We then have proposed a generic trace model for synchronous collaborative activity based on the notion of interaction mode (roughly related to a communication channel), and we have specialized and illustrated this model for two modes: whiteboard sharing and text chatting.

We are currently working on a software implementation of our models so we can confront them to real situations.

Future works also include the study of automated trace-base learning of users' habits or activity schemes that could be reused by users themselves, through trace-based assistants, or by experts for TEL environments enhancements.

References

- [1] D. Clauzel, K. Sehaba, Y. Priè, Modelling and visualising traces for reflexivity in synchronous collaborative systems, in: International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS 2009), IEEE Computer Society, 2009, pp. 16–23. Lauréat du Best Paper Award.
- [2] M. Baker, M. Quignard, K. Lund, A. Sèjournè, Computer-supported collaborative learning in the space of debate, in: Proceedings of the International Conference on Computer-Supported Collaborative Learning, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 2003, pp. 11–20.
- [3] A. Soller, F. Linton, B. Goodman, A. Lesgold, Toward intelligent analysis and support of collaborative learning interaction, in: Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence in Education, IOS Press, Netherlands, Amsterdam, 1999, pp. 75–82.
- [4] M. Constantino-González, D. Suthers, Coaching collaboration in a computer-mediated learning environment, in: L. Erlbaum (Ed.), Proceedings of the International Conference on Computer-Supported Collaborative Learning, pp. 583–586.
- [5] D. Suthers, D. Jones, An architecture for intelligent collaborative educational systems, in: Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence in Education, IOS Press, Amsterdam, Netherlands, 1997, pp. 55–62.
- [6] D. Raymond, Y. Yno, C.E. Mauad, V. Baudin-Thomas, T. Gayraud, M. Diaz, K. Kanenishi, K. Matsuura, Bringing mobility to synchronous collaborative activities: recent enhancements of the “platine” platform, in: WMTE, pp. 59–61.
- [7] D. Raymond, K. Kanenishi, K. Matsuura, Y. Yano, V. Baudin, T. Gayraud, M. Diaz, Synchronous CSCL with platine environment, in: Proceedings of the International Conference on Computer-Supported Collaborative Learning 2005 (CSCL2005), pp. 45–47.
- [8] J. Lonchamp, Supporting synchronous collaborative learning: a generic, multi-dimensional model, International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning 1 (2006) 247–276.
- [9] C. Jones, L. Dirckinck-holmfeld, B. Lindstrom, A relational, indirect, meso-level approach to CSCL design in the next decade, IJCSCL 1 (2007) 35–56.
- [10] P. Jermann, A. Soller, M. Muehlenbrock, From mirroring to guiding: a review of the state of the art technology for supporting collaborative learning, International Journal of Artificial Intelligence in Education 15 (2005) 261–290.
- [11] D. Masciotra, Réflexivité, métacognition et compétence, Vie pédagogique 134 (2005) 29–31.
- [12] S. O'Mahony, F. Ferraro, The emergence of governance in an open source community, Academy of Management Journal 50 (2007) 1079–1106.
- [13] D.A. Schön, The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action, Basic Books, 1983.
- [14] A.J.G. Cockburn, H. Thimbleby, A reflexive perspective of CSCW, SIGCHI Bulletin 23 (1991) 63–68.
- [15] U. Farooq, J.M. Carroll, C.H. Ganoë, Supporting creativity with awareness in distributed collaboration, in: GROUP07: International Conference on Supporting Group Work, ACM Press, 2007, pp. 31–40.
- [16] S. Katz, A. Lesgold, G. Eggan, M. Gordin, Modelling the student in sherlock 2, International Journal of Artificial Intelligence in Education 4 (1992) 495–518.
- [17] C. Gama, Towards a model of Metacognition Instruction in Interactive Learning Environments, Ph.D. Thesis, University of Sussex, 2003.
- [18] C. Plaisant, A. Rose, G. Rubloff, R. Salter, B. Shneiderman, The design of history mechanisms and their use in collaborative educational simulations, in: Proceedings of the Computer Support for Collaborative Learning (CSCL) 1999 Conference.
- [19] C. Despres, S. George, Supporting learners' activities in a distance learning environment, International Journal of Continuing Engineering Education and Lifelong Learning 11 (2001) 261–272.
- [20] D. Clauzel, C. Roda, M. Raglianti, G. Stojanov, et al., Deliverable 1.3: AtGentive Conceptual Framework and Application Scenarios, Technical Report, Consortium AtGentive, AtGentive European Project, 2006.
- [21] Y. Laffi, K. Halimi, A. Ghidbani, N. Salhi, Learners monitoring based on traces in CSCL system, INFOCOMP Journal of Computer Science 8 (2009) 61–72.
- [22] D. Cram, D. Jouvin, A. Mille, Visualizing interaction traces to improve reflexivity in synchronous collaborative e-learning activities, in: 6th European Conference on e-Learning, pp. 147–158.
- [23] L. Sofiane Settouti, Y. Priè, J.-C. Marty, A. Mille, A trace-based system for technology-enhanced learning systems personalisation, in: The 9th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies.
- [24] J. Laflaquière, L.S. Settouti, Y. Priè, A. Mille, A trace-based system framework for experience management and engineering, in: Second International Workshop on Experience Management and Engineering (EME 2006) in Conjunction with KES2006.
- [25] L.S. Settouti, Y. Priè, P.-A. Champin, J.-C. Marty, A. Mille, A Trace-Based Systems Framework: Models, Languages and Semantics, Technical Report, LIRIS, University of Lyon, France, UMR CNRS 5205, Université Lyon 1, 2009.
- [26] T. Baudel, Visualisations compactes: une approche déclarative pour la visualisation d'information, in: IHM '02: Proceedings of the 14th French-Speaking Conference on Human-Computer Interaction (Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine), ACM, New York, NY, USA, 2002, pp. 161–168.
- [27] C. Daassi, L. Nigay, M.-C. Fauvet, A taxonomy of temporal data visualization techniques, Revue Information Interaction Intelligence 5 (2006) 41–63.

GOALS: generator of adaptive learning scenarios

Karim Sehaba*

Université de Lyon, CNRS,
Université Lyon 2, LIRIS, UMR5205, F-69676, France
E-mail: karim.sehaba@liris.cnrs.fr
*Corresponding author

Aarij Mahmood Hussaan

Department of Computer Science,
IQRA University,
Karachi, Pakistan
E-mail: aarijhussaan@iqra.edu.pk

Abstract: The problem of generating personalised learning activities for learners is a difficult task. The difficulty is compounded if the learning activity is mediated or presented through a serious game. In this paper, we present a system, called generator of adaptive learning scenarios (GOALS), that is capable of generating learning scenarios taking into account the learners' interaction traces, pedagogical objectives and the specificities of serious games. The generator we propose aims to be generic, i.e., independent of the application domain and serious games. To achieve this, we propose an architecture that organises the knowledge in three layers: domain concepts, pedagogical resources and serious game resources. This work has been conducted in the context of Cognitive Linguistic Elements Stimulations Project (CLES). This project targets the development of an online serious game dedicated to persons with cognitive disabilities. In order to validate our approaches, we conducted experiments in the context of CLES project. These experiments are based on comparative method that compares the results generated by our system with that of an expert. The results of the evaluations, conducted with a domain expert and end users, are also presented.

Keywords: serious game; adaptive generator; learning scenarios; cognitive disabilities; interaction traces.

Reference to this paper should be made as follows: Sehaba, K. and Hussaan, A.M. (xxxx) 'GOALS: generator of adaptive learning scenarios', *Int. J. Learning Technology*, Vol. X, No. Y, pp.000–000.

Biographical notes: Karim Sehaba is an Associate Professor of Computer Science at the University of Lyon 2, France. His main research interest lies in the field of Adaptive Systems, in particular Adaptive Serious Games dedicated to persons with cognitive disabilities. He is also interested in modelling, transforming and visualisation of interaction traces for user behaviour analysis and sharing experiences.

Aarij Mahmood Hussaan is an Assistant Professor of Computer Science at the IQRA University, Pakistan. His main research interest lies in the field of intelligent systems, in particular intelligent systems in education. He is also interested in the adaptation of pedagogical content in Serious Games.

1 Introduction

In recent years, researchers have shown increasing interest in using games to improve cognitive function of players (Bavelier et al., 2011). Therefore, many game-based environments are proposed to evaluate and enhance the cognitive functions of players with one or more cognitive disabilities. These environments cover many different cognitive functions such as visual-attention (Green and Bavelier, 2003), memory (Ferguson et al., 2007), visual-spatial (Enochsson et al., 2004), attention (Castel et al., 2005), perception (Green et al., 2010), etc. Other systems use virtual reality to treat claustrophobic fear (Botella et al., 2000), attention enhancement (Cho et al., 2002), etc. These systems have the advantage of being more flexible and easily accessible. They also offer the possibility of recording the learners' interaction traces, allowing the practitioners to follow the progress and the evolution of their patients. However, most of these systems do not adapt themselves to the specificities and the needs of their individual learners. This adaptation is particularly important; in view of the fact that all the learners do not have the same competences, skills or preferences.

Our research is conducted in the context of the Cognitive Linguistic Elements Stimulations (CLES) project. The objective of CLES is to develop an adaptive serious game for the evaluation and training of cognitive functions. This project is undertaken in collaboration with many research organisations specialising in cognitive troubles, serious games and ergonomics. The cognitive functions treated in this project are: attention, perception, visual-spatial, memory, logical reasoning, written and oral language, and transverse competencies.

In the context of the CLES project, we are interested in this paper in the generation of adaptive learning scenarios. Specifically, our goal is to develop a system capable of generating learning scenarios adapted to the competencies, skills and specific needs of each learner. Indeed, the CLES project's games are accessible online and the sheer number of learners (approximately 13,200 users) associated with this project is sufficiently large; it is therefore practically impossible to manually create a personalised scenario for each learner. That is why we propose a system capable of automatically generating learning scenarios. The notion of learning scenario is used and defined differently by authors (Peter and Vantroys, 2005; Schneider et al., 2003; Guéraud et al., 2004; Tetchueng et al., 2008; Emin et al., 2008). In our work, we consider a learning scenario *as a series of activities in the form of educational games helping the learner to achieve one or more learning objectives. This system targets aims to be both generic and extensible.*

By generic system, we mean the ability of the scenario generator to be independent of a particular application domain, and therefore able to be used in several domains and several serious games. For this, we propose to organise the domain knowledge in three layers: domain concepts, pedagogical and/or therapeutic resources and game resources. The separation between these three layers is made in order to increase the general extensibility of the system, i.e., we can change the components in one layer without changing the organisation of components in other layers, e.g., pedagogical resources can be replaced, added or deleted without necessarily modifying the domain structure.

By extensible system, we mean the ability of the scenario generator to evolve its knowledge from its interactions. For this, we propose to use interaction traces as knowledge sources for the system in order to update the learner profile and domain knowledge. A trace is defined as a history of learner's actions collected in real-time while

the learner is using the serious game (Clauzel et al., 2011). The interaction traces help us in keeping a detailed history of the learner for further analysis by the practitioner, and in detecting the learner's state during his or her interaction in order to dynamically adapt the game's difficulty to the learner. Generally, we formally define a trace as a set of temporally located observed elements (Marty and Carron, 2011; Clauzel et al., 2011; Settouti et al., 2009). Each observed element represents the learner action on computer environment such as interacting with an educational resource, opening a file, clicking on a hyperlink, etc.

The rest of the paper is organised as follows; the next section presents the application context of the CLES project. Section 3 presents the literature review related to the scenario generation in Adaptive Educational Hypermedia Systems (AEHS) and serious games. Section 4 presents the knowledge models and the principle of the scenario generator we propose. Section 5 presents the evaluation protocols and the actual experiments and their results. The last section summarises the conclusions of our work and suggests directions for future work.

2 CLES project

This section presents the CLES project by first giving the general description of this project, followed by the principal of the serious game developed by the project.

2.1 Project description

The CLES project is financed by the French Ministry of Industry and is conducted in partnership with many research organisations specialising in cognitive troubles, serious games and ergonomics. The objective of this project is to develop a serious game environment for the evaluation and training of eight cognitive functions: perception, attention, memory, visuospatial, logical reasoning, oral language, written language and transversal competencies. Therefore, for each function, this project aims to develop a suite of mini-games that are focused on specific deficiencies while maximising their cognitive ergonomics through techniques used in video games.

2.2 Principle of the serious game

The serious game developed in the context of this project, called *Tom O'Connor and the sacred statue*, is an adventure game. The protagonist of this game is a character named Tom. Tom is searching for a sacred statue hidden in a mansion. According to the scenario of the pedagogical session, the player can be placed into one of many rooms in the mansion. Some of these rooms are shown in Figure 1. Each room is furnished with many interactive objects such as paintings, chairs, tables, a bed, etc. Hidden behind some of these objects are challenges in the form of mini-games. The player is required to interact with these objects to launch the mini-games. In order to go to the next room and move forward in the game, the player has to launch all the mini-games in the room. The next section presents some examples of min-games.

Figure 1 The Tom O'Connor game environment (see online version for colours)



2.3 Examples of mini-games

Figure 2(a) is an interface of a mini-game called *Objets Entermêlés à Identifier* (Identify intermixed objects). The purpose of this game is to train and test the visual-perception of a child aged between 6 to 12 years. The game goes as follows: the learner is shown a 'Model' which contains more than one element that is intermixed. S/he is also shown a number of single elements as possible responses. Among the possible responses, the learner needs to identify the element that appears in the Model. Furthermore, the learner has to do this in the allotted time. The pedagogical objective of the game is to enhance the child's visual perception by helping him to identify individual objects intermixed with other objects of the same nature. The level of difficulty can be adjusted, according to the learner, by modifying the game's parameters. The parameters for this game are: type of images, number of images in the model, the time given to the player to respond and the number of possible responses.

Figure 2 Examples of mini-games, (a) interface of intermixed objects mini-game (b) interface of memory mini-game (see online version for colours)

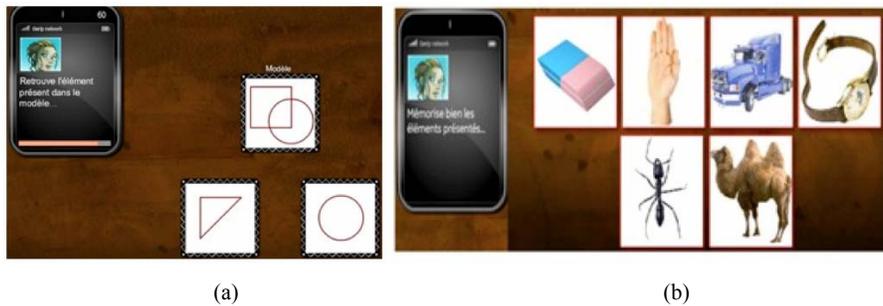


Figure 2(b) shows the interface of a mini-game for the evaluation and training of memory. As this figure shows, the game displays a series of images that the learner must memorise. After a certain period of time, the images disappear; the learner is then asked to select these images among several responses. This game has several parameters: the number of images to be memorised and their complexity, the display time of these images, the number of responses and the response time for the learner. These parameters

serve to adjust the difficulty level of the game based on the capabilities and needs of each learner.

For each of the eight cognitive functions of the CLES project, we have at least a dozen games, and for each of these games we have nine levels of difficulties. Taking into account the learner's profile, his/her interaction traces, the therapeutic objectives of the session, the role of the scenario generator is to select the appropriate mini-games with the appropriate levels of difficulty and then to put them in relation with different interactive objects in the rooms of the house.

3 Literature review

The purpose of this section is to present the existing approaches to the generation of learning scenarios and serious games, and to show what lacks in these approaches and where we are contributing. This review includes, among others, the following characteristics that we consider of prime importance in our work, namely:

- The generic architecture independent of the pedagogical domain and application
- The use of interaction traces for updating the learner's profile and updating the learning scenario.

This section is organised into two sub-sections. The first one presents the course generators in AEHS and the second presents the scenario generators in serious games.

3.1 Course generators/course sequencers

The objective of course generator systems is to provide the learner with a personalised sequence of educational material or activities according to a particular learner (Brusilovsky and Vassileva, 2003). These systems are divided into two categories: Course (ware) Generator and Course (ware) Sequencer. The former is used to generate a course in a single go before presenting it to the learner. The latter is used to select the best educational activity/resource at any moment. Thus, the whole course is not generated beforehand but dynamically, activity by activity, according to the learner's current representation in the system.

A large number of systems are limited to sequencing one kind of task, i.e., sequencing the order of problems and questions. Some examples of these kinds of systems can be found in Rios et al. (1999). The approach used by these systems is called task-sequencing. Another approach is to sequence large chunks (lessons) of educational material. This approach is used in Brusilovsky (1994). Other advanced systems (Khuwaja et al., 1996) could sequence complicated courses, which contain examples, presentations, tests, etc.

Other works try to represent the targeted domain via a concept graph and present the learner with a personalised learning path through that concept graph. Among them are Dynamic Courseware Generator (DCG) (Vassileva, 1995; Vassileva and Deters, 1998) and Adaptive Courseware Environment (ACE) (Specht and Oppermann, 1998).

DCG selects the learning resources based upon 'teaching strategies' and learner preferences. However, it does not take the learner's profile into account. DCG does not make provision for adapting a learning resource according to a learner. While the manual

definition of learning paths in systems like ACE makes them difficult to use in an environment with many learners with different competencies and skill sets. In addition, the interaction traces are not utilised by either of them.

Apart from course (ware) sequencers, there are course (ware) generators. Like the sequencers, most of the generators have a domain graph of concepts. However, the techniques for what to generate and how to generate differ from one system to another. Presentation planning exists in WINDS (Specht et al., 2001), but the learning scenarios are manually defined by the author. An expert-system type approach is presented in (Melis et al., 2001), making it necessary to enter all the rules beforehand, thus making it difficult to maintain a large knowledge base.

In Duitama et al. (2005), multiple perspectives of generating a course are presented to the user. The user has the possibility of generating the course using either course-based or goal-based perspectives. The use of static adaptation rules with each educational resource renders the approach a little tedious for the authors. Cognitive learning styles of different learners are taken into account in Learning Intelligent Advisor (LIA) (Sangineto et al., 2008). In these systems, only one kind of learning scenario is used. This kind of restriction makes these approaches, domain-dependent.

Hwang et al. (2010) presents an approach for the planning of personalised learning paths in context-aware ubiquitous learning. The learning objects have to be manually rated by the domain expert; this can be very demanding for the expert in our context of study because of the large number of learning objects. Nakabayashi et al. (2010) presents an approach for the design of an extensible learner-adaptive environment. They do not deal with the problem of personalising learning paths for learners.

A system which combines the techniques of course sequencing and generation, is presented in a system called 'Paigos' (Ullrich and Melis, 2010). The authors propose the use of formalised complex learning scenarios. These include a static task which represents the scenario's structure and dynamic tasks to adapt the scenario for the learner. The authors use hierarchical task network (HTN) – planning and formalised scenarios to deliver adaptive courses. The way Paigos is constructed makes it difficult for persons unfamiliar with HTN techniques to use it. Also, the learner has to choose the concepts s/he wants to learn, the list of concepts is not generated automatically according to his or her goals. Course generation has also been used in web-based courses. A rule-based system for collaborative web-based courses is presented in Carro et al. (2003). Case-based reasoning is used in a web-based system (Heraud et al., 2004), called Project Integrating eXperience in Distance Learning (PIXED). This system uses the modelled interaction traces for adaptation. PIXED relies on the learners to annotate their traces, which can be difficult for cognitively disabled persons. In general, course generators focus on the pedagogical aspects and do not target serious games for delivering their courses. Therefore, it is difficult to use them with serious games. Not every system uses a formal scenario and the interaction traces are not generally exploited.

3.2 *Serious games in education*

The notion of serious games is defined differently by different researchers. For our research, we use the definition proposed by Zyda (2005) of, "a mental contest, played with a computer in accordance with specific rules, which uses entertainment to further government or corporate training, education, health, public policy, and strategic communication objectives". Games have many inherent features that can help in

accelerating the learning process. In fact, games can help in learning in a fun way (Garris et al., 2002), and keeping gamers engaged (Virvou and Katsionis, 2005), motivated (Virvou and Katsionis, 2005), immersed (Cho et al., 2002), etc. Literature gives numerous examples of games used in education, each using different type of personalisation and educational content delivering techniques.

Systems have been proposed to use games for planning and managing business simulation games (Bikovska and Merkuryeva, 2007). The learning scenario is presented as a tree, providing adaptation according to different learner actions. An authoring tool for the creation of 2D adventure games is presented in Moreno-Ger et al. (2007). Personalisation is carried out by pre-defining the decision tree. A similar type of adaptation is done using the e-adventure platform to teach HCT Blood tests in Torrente et al. (2009). In these kinds of systems, the construction of the tree becomes difficult as the scenario becomes more complex. A pedagogical dungeon to teach fractions in a collaborative manner is presented in Carron et al. (2008). The scenarios are static and the tight coupling between the learning scenario, and the gaming interface deprives the approach of the possibility of re-usability. The interaction traces are used here in the adaptation process. C programming language is taught in Chang and Chou (2008). The teachers present the learner with a sequence of learning activities in a Bomberman type game. The manual presentation of learning activities sequence is not manageable in the case of hundreds of learners. A non-linear scenario is presented to 4 to 6 grade students in the form of the life of a sea turtle in order to teach ocean ecology (Lo et al., 2008). Interactive Story Telling techniques are also used to deliver education (Champagnat et al., 2010). An interesting approach is presented in Thomas and Young (2010), where a plan-based knowledge representation is used to utilise learning content with the core mechanics of a game. Zook et al. (2012) presents an approach for the automated scenario generation in military training virtual environments. They only deal with the gaming scenarios, also they do not discuss the modelling of the pedagogical domain.

There are also some games that target to adapt games dynamically according to the user's performance. This technique is called Dynamic Difficulty Adjusting (DDA). The games using DDA observe the users' activities, try to determine the users' performance and then modify the game-level's difficulty. This functionality is interesting to us as we are also looking forward to adapting the learning scenarios. Evolutionary algorithms are used in Togelius et al. (2007), to adapt the race tracks of a car racing game as a function of user performance. However, these systems do not deal with pedagogical content. The players' usage data is used statistically to make predictions about the player's state in Jennings-Teats et al. (2010). If an undesirable state is encountered, the system automatically adjusts the game settings. Similarly, users' play patterns and design patterns are analysed based on the Gaussian Mixture Model (GMM) probability model and dynamically generate the level with online learning technique which adapt the reinforcement technique.

However, the drawback of these and similar approaches, from our point of view, is the fact that there is a very tight coupling between the game and pedagogical aspects which makes re-usability difficult. Sometimes the pedagogical aspects are not modelled at all. Generally, the notion of a formalised learning scenario is also not present and neither is the use of interaction traces. These, along with other game-based approaches do not satisfy the criteria of having a learning scenario and being reusable.

3.3 Summary

In this section, we presented the systems for the generation of learning scenarios in AEHS and serious games. AEHS proposes to tailor the information delivered to the learners according to their needs, as compared to the ‘one-size-fits-all’ technique of the traditional course. The systems under the umbrella of AEHS that are focused on the selection of personalised scenarios are called ‘Course Generators’. The objective of these systems is to provide the learner with personalised learning scenarios in accordance with an individual learner. These systems are not designed to be used with serious games. Therefore, they do not take into account the specificities of serious games, thus rendering them difficult to use with serious games. Moreover, the serious games focused on education are mostly focused on a single pedagogical domain. It is consequently difficult to re-use aspects of the game for different pedagogical purposes. Similarly, the pedagogical domain is difficult to use with other games.

In this research work, we propose a system that is capable of generating pedagogical scenarios, independently of the pedagogical domain, keeping into account the learner competencies and objectives. These scenarios will be generated to include the serious game specificities, thus making our system usable with serious games. The interaction traces will be used to update the system and provide the learner with adaptive scenarios.

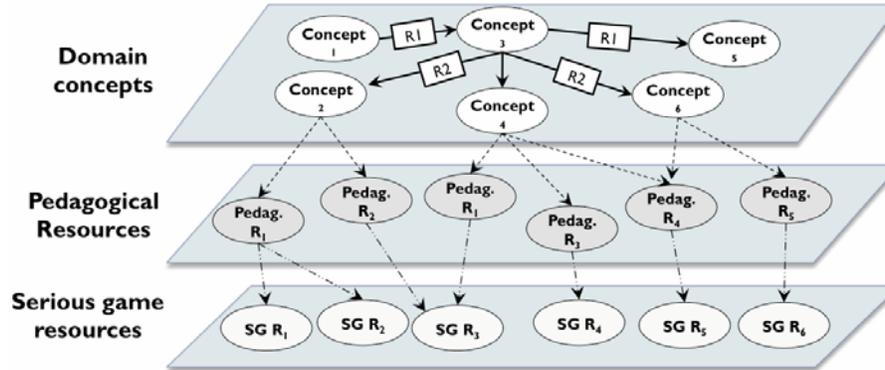
4 Adaptive generator of learning scenario in learning games

This section presents our contribution for a scenario generator adapted to each user taking into account his/her profile and needs. As a first step, we present the knowledge representation models that we propose. Then we describe the principle of operation of the scenario generator.

4.1 Knowledge representation models

This system aims to be generic, i.e., independent of the application domain and can therefore be applied to or used with any serious game. For this, we propose an architecture that organises the knowledge domain in three layers as shown in Figure 3.

The first layer represents the concepts involved in the learning domain. These concepts are related to each other with different relations. The second layer represents the pedagogical resources (e.g., exercises, definitions, examples, etc.). Each pedagogical resource is linked with one or more domain concepts. The third layer represents serious game resources [e.g., non-playing characters (NPC), chairs, tables, doors, etc.]. These resources are used with the pedagogical resources to be presented to the learner. The modelling of the domain concepts, relations between them, pedagogical resources and game resources are presented in the following sections.

Figure 3 Domain knowledge representation model (see online version for colours)

4.1.1 Domain concepts

As the name indicates, the first layer consists of the domain-specific concepts. They are organised in the form of an acyclic graph where the nodes represent the concepts, and the links between them are directional and represent the relations.

Formally, the domain knowledge model (DKM) is a tuple $DKM = \langle C^*, R^* \rangle$, where C^* represents the set of the domain concepts of the pedagogical domain and R^* represents the set of relations between the domain concepts.

C is defined as $C = \langle id, P \rangle$, where id is unique identifier of the concept in the system, and P is properties of the concept. These properties are of the form $\langle attribute, value \rangle$, where attribute is the name of the property and value is the property's value. For example, $\langle \text{"name"}, \text{"perception"} \rangle$, $\langle \text{"definition"}, \text{"Perception is the interpretation of sensory information in order to understand the environment..."} \rangle$, etc.

The relation R is defined by $R = \langle C_{From}, T, RC + \rangle$, where C_{From} is the origin concept of the relation and T is type of relation defined as $T = \langle Name, Description, F_{Type} \rangle$, where $Name$ is the name of the relation, $Description$ is the description of the relation, and F_{Type} is the function used to calculate the dependencies of the concept C_{From} to the concept C_{To} linked via this relation.

RC is relation of concepts defined as $RC = \langle C_{To}, F, Value \rangle$, where C_{To} is target concept of the relation, the direction of relation is from C_{From} to C_{To} . F is function that calculates the value used by F_{Type} . If the function F is absent, then $Value$ is used by F_{Type} to calculate the dependencies between the concepts of this relation. The function F_{Type} is used to propagate the information in the graph and is used to update the learner's profile. The profile is represented by a tuple of $\langle attribute, value \rangle$ where each attribute corresponds to a concept, and the value represents the learner's competence in that concept.

In the context of the CLES project, we have created a concept for each of the eight cognitive functions and for each of the sub-functions of these cognitive functions. Many types of relations (Hussaan et al., 2011) are used to organise the domain concepts. For example, we present two relations here [Several other relations can be shown in literature (Karampiperis and Sampson, 2005; Duitama et al., 2005)]:

- Has-parts ($x, y_1 \dots y_n$): This relation indicates that the associate concept $y_1, y_2 \dots y_n$ are the sub-concepts of the concept x . For example, has-parts (perception, auditory perception, visual perception), has-parts (maths, addition, multiplication, division, subtraction).
- Required (x, y): This relation indicates that to learn concept x the concept y has to be learned sufficiently. For example, required (written language, visual perception).

Figure 4 Example of knowledge domain of CLES project (see online version for colours)

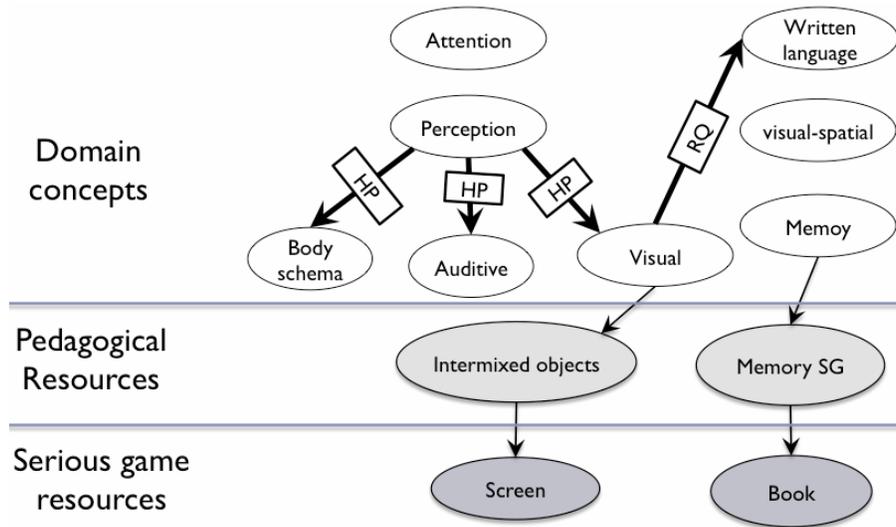


Figure 4 shows a portion of knowledge of CLES project that represents basic concepts, corresponding to the eight cognitive functions, and two relationships: one relation, of *has-part* type, between *perception* and its sub-concepts: *body schema*, *auditive* and *visual*, and one relation, of *required* type, between *written language* and *visual-perception*. The modelling of the relation has-part is as follow: $R1 = \langle Perception, TF_P, \langle RC_1, RC_2, RC_3 \rangle \rangle$, where $TF_P = \langle Has-Parts, "Description", F_{H.P} \rangle$, $RC_1 = \langle Visual, null, 30 \rangle$, $RC_2 = \langle Auditive, null, 30 \rangle$ and $RC_3 = \langle Body - Schema, null, 40 \rangle$.

4.1.2 Pedagogical resources

In general, a pedagogical resource is an entity used in the process of teaching, forming or understanding, enabling learning or conveying the pedagogical concepts. The pedagogical resources can be of different natures: a definition of a concept, an example, a theorem, an exercise, etc. Formally, a pedagogical resource *PR* is defined by:

$$PR = \langle Id, Type, Parameters^*, Evaluation-Function, Solution, Characteristics^*, Concept-Relation^* \rangle$$

where Id is unique identifier of the resource in the system. $Type$ is the type of the resource that can be: introduction, example, theorem, mini-game, etc. $Parameters$ represent the parameters that can be used to modify the difficulty of the pedagogical resource according to the learner profile (Section 2 gives examples of parameters of CLESs mini-games). $Evaluation-Function$ used to evaluate the learner's response if the resource is a test (exercise, problem, qcm, etc.). $Solution$ is the correct response to the resource of test type. $Characteristics$ represent the meta-information about the resource, for example author's name, date of creation, language, etc. $Concept-Relation$ represents the concepts that are related to the resource and is represented by a tuple $\langle Concept, Required-Knowledge, Impact-Function \rangle$, where $Concept$ is the concept related to the resource, $Required Knowledge$ is the competence (expressed by a score $[0, 1]$) of the concept required by a learner to access this resource, and $Impact-Function$ calculates the impact of this pedagogical resource on the domain concepts.

In the context of the CLES project, the pedagogical resource layer represents the mini-games. In Section 3.3 some examples of mini-games are presented with their parameters needed to adjust their difficulty. For example, consider the minigame 'Intermixed Objects' that is in relationship to the concept Visual Perception like shown in Figure 4. This mini-game can be modelled as follows. ID: $Id_{IntermixedObjects}$. Type: mini-game. Parameters: $\langle Type\ of\ images, Nb\ of\ images, Time\ of\ response, Nb\ of\ possible\ responses \rangle$. Evaluation: $Func_{IntermixedObjects}$. Solution: $Sol_{IntermixedObjects}$. Characteristics: $\langle authors, description, date \rangle$. Concepts-Relation: $\langle ID_{visual-perception}, 10, ImpFunc \rangle$.

4.1.3 Game resources

The game resources are either static objects or are endowed with an interactive or proactive behaviour according to the game. In our model, we consider only the resources that are in relation with a pedagogical resource. Formally, each game resource (GR) is defined as:

$$GR = \langle Id, Characteristics^*, Pedagogical-Relations^* \rangle$$

where id is unique identifier of the GR. $Characteristics$ represent the meta information about the resource such as the author's name, date of creation, type, etc. $Pedagogical-Relations$ represents the pedagogical resources that are in relation with the GR.

In the context of the CLES project, the GRs are the serious game objects which are used to hide the pedagogical resources (mini-games). Like shows the example of Figure 4, a GR 'Screen' is be related to the pedagogical resource Intermixed Objects and, then the Screen can be modelled as follows: $ID = Id_{Screen}$; Characteristic = $\langle "type", "game\ object" \rangle$; Relation-pedagogical = $\langle Id_{visual-perception} \rangle$.

4.1.4 Learner profile

The learner profile has an important role in the adaptation process. Indeed, it is based on the values of the profile that the system will generate the scenarios adapted to the learner. We model the learner profile P using the following elements:

$$P = \langle Id, Personal\text{-}information^*, Motivational\text{-}level^*, Concept\text{-}competence^*, \\ Interaction\text{-}trace^* \rangle$$

Id is the learner's identifier. *Personal-information* such as name, date of birth, e-mail, etc. *Motivational-level* that can help in selecting the level of difficulty of the pedagogical resources. *Concept-competence* represents the overlay of the domain knowledge. The competences are kept as a score of the concepts in the domain knowledge. For example, the visual perception ability of a blind user can be expressed by $Concept_{visual\text{-}perception} = 0$, and the ability of visual perception of a user without visual impairment $Concept_{visual\text{-}perception} = 1$. *Interaction-trace* is the interaction history of the learner is also referenced in his/her profile.

A trace is defined as a set of observed elements. Formally, a trace T is represented as $T = \langle O_1, O_2 \dots O_n \rangle$, where each observed element O_i is characterised by the following:

$$O_i = \langle Concept, Pedagogical\text{-}Resource, Serious\text{-}game\text{-}resource, \\ Presentation\text{-}model, Learner\text{-}Response, Time\text{-}of\text{-}response, \\ Evaluation\text{-}response \rangle$$

where *Concept* is the identifier of domain's concept. *Pedagogical-Resource* is the identifier of the pedagogical resource. *Serious-game-resource* is the identifier of the serious GR. *Presentation-model* is the model used to structure the scenario. *Learner-Response* is the learner's response on the pedagogical resource of test type. *Time-of-response* is the time taken by the learner to respond. *Evaluation-response* is the evaluation of the learner's response.

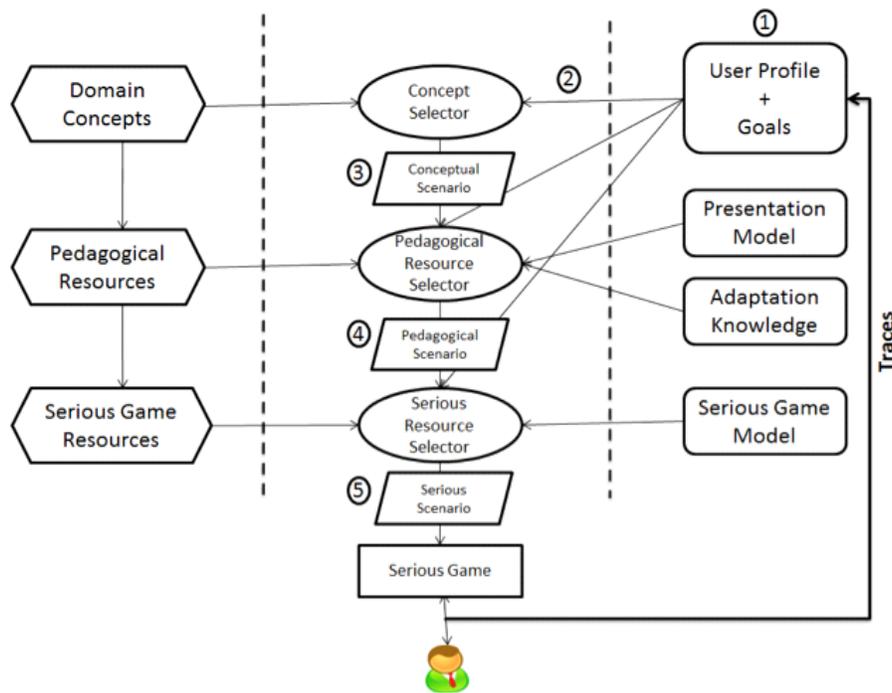
4.2 Generator operating

Figure 5 shows the general architecture of the generator system. The process of generating learning scenario is as follows: The domain's expert(s) enters the domain's knowledge and the learner profile in the system (1) according to models presented in the previous sections. In each learning session, the system is given the pedagogical goals as input. These goals are either selected by the learner or are predefined by the system according the learner's profile. The system, according to the selected goals and the learner's profile, selects the concepts from the domain model (2). This selection depends on the type of relation between the concepts. In fact, for each type of relation, we have identified a strategy for the selection of concepts. For example, if a learner has chosen a target concept A and A is in a relation, of type Required, with another concept B [Required (A, B)], then the generator verify whether the learner sufficiently knows concept B. If this is not the case, then the generator includes concept B in the conceptual scenario. This selection is made by the Concept Selector module. The output of this module is the Conceptual Scenario. This conceptual scenario is comprised of concepts along with the competence required to achieve the pedagogical goals.

The conceptual scenario is sent as input to the Pedagogical Resource Selector module (3). The purpose of this module is to select appropriate pedagogical resources for each concept in the conceptual scenario. These resources are selected according to the Presentation Model and the Learner's profile. The purpose of the presentation model is to organise the pedagogical resources presented to the learner. This structure can be similar to starting a scenario, by presenting two definitions followed by an example and an

exercise. The selection of these models can be made for the learner either by the learner or by the teacher (expert). The structure of the scenario model can fit the form defined in Ullrich and Melis (2010). Furthermore, the pedagogical resources are then adapted according to the ‘Adaptation Knowledge’. The adaptation knowledge, which is modelled by the rule-based system, is used to set the parameters of pedagogical resources according to the learner’s profile and pedagogical goals. The output of this module is a Learning or Pedagogical scenario. This scenario comprises pedagogical resources with their adapted parameters.

Figure 5 General architecture of the scenario generator (see online version for colours)



The learning scenario is sent as input to the module Serious Resource Selector (4). This module is responsible for associating the pedagogical resources with the serious GRs. This association is made based on the knowledge models (see Section 4), the user profile and the Serious Game Model. The Serious Game Model is used to associate the type of serious GR with the types of the pedagogical resources. The output of this module is the Serious Scenario. This will be used in the serious game. The learner interacts with the learning scenario via the serious game. As a result of these interactions the learner’s interaction traces are generated. These traces are stored in the learner profile. These traces are then used to update the profile and consequently, to modify the learning scenario according to the learner’s performance, if necessary.

5 Evaluations

In this section, we describe the evaluation methods which we have defined, on the one hand, to validate the models of our scenario generator and on the other hand, to study the impact of adaptive scenarios on the learners. For this, we have defined two evaluation protocols that we have implemented in the context of two real-world experiments.

Based on the different models we propose (presented in Section 4), we have developed Generator of Adaptive Learning Scenarios (GOALS) (Hussaan, 2012). GOALS is an online tool that presents the opportunity to domain experts to model the knowledge domain, and to present learners with personalised pedagogical scenarios via a variety of serious games. For all these evaluations, GOALS was used.

5.1 *Validation of scenario generator*

5.1.1 *Evaluation protocol*

The first evaluation of our scenario generator was conducted in presence of a domain expert. This expert is a cognitive sciences practitioner with more than 20 years' practical experience. He has actively participated in the creation of edutainment software to help children with cognitive disabilities. The objective of our evaluation is the validation of:

- the scenario generator's operation: it concerns the validation of the concept selection strategy adopted for each type of relations
- the knowledge models: this means validating the concepts and the relations that we have introduced into the system in the context of the CLES project.

For this, the basic strategy that we have adapted is comparative evaluation (Vartiainen, 2002). It consists in comparing the learning scenarios created manually by the domain expert with the learning scenarios generated automatically by the system for the same input. This input corresponds to the domain knowledge and profile types. During the evaluation process, we conduct an Elicitation Interview (Bull, 1970) with the expert. The purpose of this interview is to help the expert to explicate (as far as possible) his/her thinking process, how s/he reasons while creating a learning scenario.

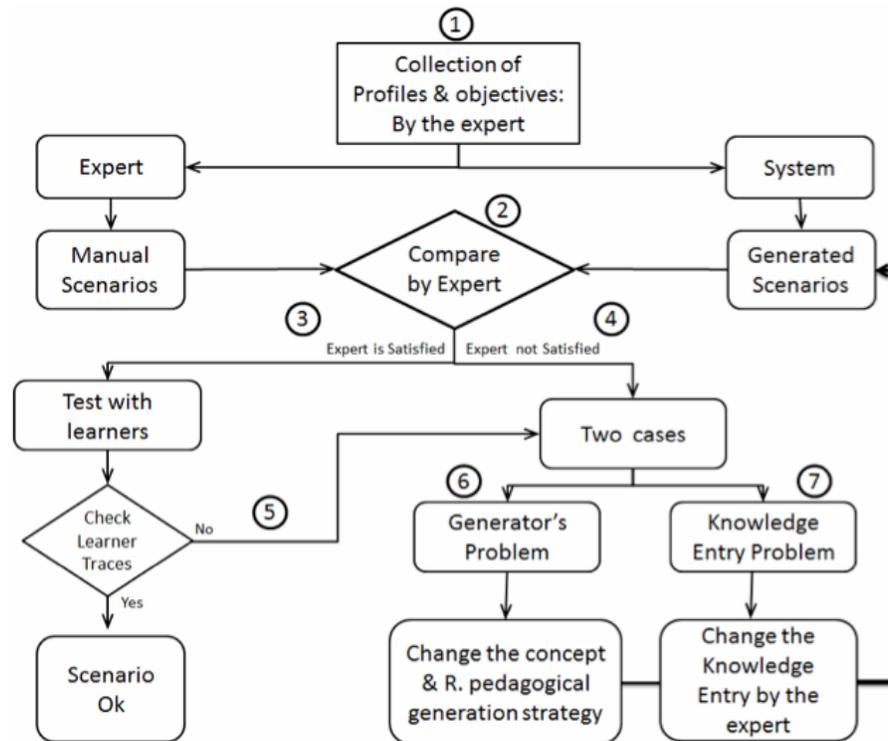
Before conducting the interview we came up with an evaluation protocol. This protocol is designed to guide us in conducting the evaluation and to help us to validate our models and to identify any problems and the source of them. The protocol flow chart is depicted in Figure 6. Firstly, the expert is asked to create a certain number of learner profiles (1). The profiles should be diverse, i.e., with different competencies. This helps in determining whether the system can handle diverse cases or not. In addition to these profiles, the expert is asked to fix some pedagogical objectives for the profiles. For each pedagogical objective and each profile, the expert creates learning scenarios.

Once the expert has identified the profiles and the objectives, we introduce them into the system in order to automatically generate the learning scenarios. Then the two sets of scenarios (expert and GOALS) are compared by the expert (2) (by an explication interview in which we ask the expert to verbalise the process which s/he uses to compare the two scenarios). The expert is filmed during the whole evaluation process.

The result of this comparison will be that the expert will find the scenarios either similar (3) or not similar (4). If the scenarios are similar, they will be presented to real learners. Ideally, these learners should have the same profiles as entered in the system.

The evaluation with end users is given in Section 5.2. If as a result of the comparison the expert does not find the scenarios similar enough (4) then two cases are possible: the system's generator is not working properly (6) or the knowledge entered in the system is not correct (7). In the first case, we correct the concept selection strategy and/or pedagogical Resource selection strategy. In the second case, we check the knowledge with the expert.

Figure 6 Evaluation protocol of the first experiment



5.1.2 Experiments and results

The experimentation took place in the context of the CLES project. We introduced the CLES domain knowledge in GOALS. Due to high complexity of the CLES domain knowledge, the expert may have found the experimentation tedious and hard to follow (40 concepts, 44 relations, 91 pedagogical resources, each resource having nine levels of difficulty). To counter this, we divided the CLES domain model into three mini-models. These mini-models contain all the eight main domain concepts of CLES (perception, attention, visual-spatial, memory, written and oral language, logical reasoning and mixed competencies), and in each mini-model one concept is detailed. The detailed concepts are: written language (model 1), perception (model 2) and memory (model 3).

Once these models are defined, we prepared six profiles for each model. The profiles are as follows: profile 1: eight years, no deficiency in concept *x*. Profile 2: eight years, deficiency in concept *x*. Profile 3: 14 years, no deficiency in concept *x*. Profile 4: 14 years, deficiency in concept *x*. Profile 5: 18 years, no deficiency in concept *x*. Profile 6: 18 years, deficiency in concept *x*. The concept *x* is the detailed concept in each model.

For each profile, the expert has given sufficient values to the concepts. The objectives for each of the profiles are also fixed. These objectives are a bit higher for the profiles without deficiency and lower for the profiles with deficiencies.

As soon as the profiles were created and the objectives were fixed, we introduced them into GOALS and automatically generated the scenarios. In the meantime, the expert created the learning scenarios manually. Afterwards, we asked the expert to compare the scenarios he created manually with those generated automatically.

Table 1 shows two scenarios related to Perception model and Memory model. In the first example, the expert found that the two scenarios (GOALS and Expert) are similar. Thus, the selected mini-games are either identical (for example, Noise and Logatome) or relate to the same function (For example, Intermixed Objects, Images complement and Discrimination that concern the visual perception). Also, the level of difficulty chosen by the expert and GOALS were same. In the second example, even if the contents of the two scenarios are similar, the level of difficulty is different.

Table 1 Examples of scenario comparison

<i>Example 1</i>				<i>Example 2</i>			
<i>Profile</i>				<i>Profile</i>			
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Children of 8 years</i> • <i>Deficiency in perception</i> • <i>Learning objective: perception</i> 				<ul style="list-style-type: none"> • <i>Children of 14 years</i> • <i>With deficiency in memory</i> • <i>Learning objective: memory</i> 			
<i>GOALS</i>		<i>Expert</i>		<i>GOALS</i>		<i>Expert</i>	
<i>S-G. name</i>	<i>Level</i>	<i>S-G. name</i>	<i>Level</i>	<i>S-G. name</i>	<i>Level</i>	<i>S-G. name</i>	<i>Level</i>
Intermixed objects	4	Images complement	4	Identification	7	Reproduction	5
Images complement	4	Discrimination	4	Gone	7	Identification	5
Noise	6	Noise	6	Visual	8	Visual	5
Logatome	6	Logatome	6	Playing cards	8	Playing cards	5

During the elicitation interview, the expert revealed some modifications in the domain model and generator’s selection strategy. In the domain model, we added five new relations between concepts, for example the addition of a prerequisite relation between Memory and Oral Language. We also modified also some concept selection strategies. We also found that our system only takes into account the learner’s profile when setting the pedagogical resource levels, whereas, the expert also took into account the gap between the profile and the pedagogical objectives. As a result of this evaluation we updated the knowledge models, and corrected the problems in our system. Finally, after showing the results to the expert, he appeared sufficiently satisfied with them. He also appeared satisfied with the way in which our generator selected concepts based on the type of relations.

Once the knowledge and the generator algorithms had been validated by our expert, we tested GOALS with several other clinical experts. The 12 experts who participated in these tests, conducted online, made positive remarks about knowledge of the CLES project and generation scenarios. However, participants identified several issues related to the interface ergonomics. Indeed, the interface was not intuitive, especially regarding the knowledge editor. Information about the CLES project is quite dense and experts struggled to read the graph concepts. To address this problem, we proposed multi-scale interactive visualisation. The principle is to visualise the concepts of the upper levels (the 12 basic concepts of the CLES project), and to display sub-concepts on user's request.

5.2 Impact of scenarios on the learners

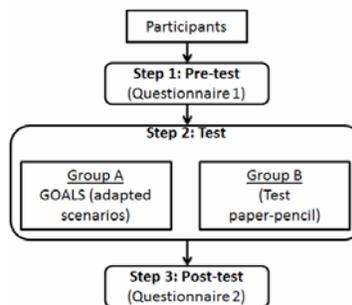
5.2.1 Evaluation protocol

In this section, we describe the evaluation method which we have defined to study the impact of adaptive scenarios on the learners. For this, we defined a protocol based on two groups of learners, group A and group B. The principle of this protocol is shown in Figure 7. The protocol follows four steps: pre-test, test, post-test and analysis of results. During the first step, a similar questionnaire is given to all the learners (in groups A and B). This pre-test allows us to make sure that the competencies levels of the two groups are similar. During the second step, the learners of group A use the scenarios generated by GOALS and the learners of group B use the classical learning activities. The third step consists in giving all the learners (of groups A and B) another questionnaire.

Table 2 Users profiles for experiment 2

Group	Participant	Age	Sex	Disability
Group A	P1	30	M	Dysphasia
	P2	26	M	Epilepsy
	P3	21	F	Asperger syndrome
	P4	21	M	Phys
Group B	P5	21	F	Multi-dys
	P6	16	M	Attentional disorders
	P7	17	M	Asperger syndrome
	P7	17	M	Dysphasia

Figure 7 Evaluation protocol of the second experiment



The fourth step consists in comparing the results of the questionnaires 1 and 2 to study the progression of the learners of the two groups. Naturally, the two questionnaires, the steps 1 to 3, and the content of the learning activities of the second step should be coherent with the learning domain (cognitive stimulation in our context). During the experimentations the learners were filmed in order to analyse their realisations a posteriori.

5.2.2 Experiments and results

We conducted an experiment with eight participants, who were divided into two equal groups (A and B). Table 2 shows an overview of the profiles of the participants. This experiment was focused on three cognitive functions of the CLES project which are: perception, memory, and logical reasoning. For each of these functions, we prepared the questionnaires for the three steps: pre-test, test and post-test. We also introduced into the GOALS the CLES knowledge and the participants’ profiles with the help of an expert.

During the step of pre-test, the learners of the two groups answered the same questionnaires. During the step of test, the participants of group A used the scenarios generated by GOALS and the participants of group B used paper-pencil (Figure 8 gives an example) type learning activities. During the post-test step, the participants of the two groups answered the same questionnaires.

Table 3 Results of the pre and post-test of perception

Group	Participant	Pre-test	Perception				
			Average	SD	Post-test	Average	SD
Group A	P1	4			10		
	P2	5	6.25	2.63	7.5	8.875	1.03
	P3	6			9		
	P4	10			9		
Group B	P5	7			10		
	P6	7	8	1.41	7.5	8.5	1.22
	P7	8			7.5		
	P8	10			9		

Figure 8 Example of paper-pencil activity



Table 3 shows the results of the pre- and post-perception test questionnaires. Altogether, the results showed that the progression of group A is significantly higher than that of the group B. However, it is premature to affirm that the difference between the results of two groups is due to the mini-games. It would require many further experiments, over a longer period of time, to demonstrate this.

6 Conclusions and perspectives

This research work is taking place in the context of the CLES project. The objective of CLES is to develop an adaptive serious game for evaluation and rehabilitation of cognitive disorders. In this paper, we have presented a system capable of personalising a serious game scenario for every learner, according to their capabilities, their competencies and their interaction traces. The architecture of this system organises the knowledge in three layers: domain concepts, pedagogical resources and serious GRs. This architecture allows the system to be utilised in different domains of applications and different serious games.

The interaction traces are used to update the learner profile. The user profile is represented by a set of properties in the form of < attribute, value > where each attribute corresponds to a domain concept, and its value corresponds to the learner's competence in the concept. To update the learner profile, our approach is to propagate the information in the concept graph based on the learner's performance. This information is calculated by the evaluation function and is stored in the learner's traces. In order to update domain knowledge from trace, we use machine learning techniques.

To validate our system, we propose an evaluation protocol, which makes it possible to compare the scenarios generated by the system and the scenarios created by the domain expert for the same cases. This protocol was put to the test with an expert orthopedist in an experiment. This experimentation allowed us, on the one hand, to validate the CLES project's knowledge, and on the other hand, the functioning of the scenario generator. We conducted also another experiments with end users according to a protocol we defined.

The main difficulty we could have been confronted with while following our evaluation protocol was to identify whether the problem came from introducing the expert's knowledge into the system or in the generation of the scenario, when the expert was not satisfied with the scenario. There is also the possibility that the problem exists in both the introduction of the expert's knowledge and system's generator. However, we did not encounter this problem as we were fortunate enough to identify it. However, we may face this problem with future evaluations.

In the future work, we will would like to improve the interface of GOALS and test it in other serious games.

References

- Bavelier, D., Green, C.S., Han, D.H., Renshaw, P.F., Merzenich, M.M. and Gentile, D.A. (2011) 'Brains on video games: nature reviews', *Neuroscience*, Vol. 12, No. 12, pp.763–768.
- Bikovska, J. and Merkuryeva, G. (2007) 'Scenario-based planning and management of simulation game: a review', *21st European Conference on Modelling and Simulation*, Vol. 4.

- Botella, C., Banos, R.M., Villa, H., Perpina, C. and Garcia-Palacios, A. (2000) 'Virtual reality in the treatment of claustrophobic fear: a controlled, multiple-baseline design', *Behavior Therapy*, Vol. 31, No. 3, pp.583–595.
- Brusilovsky, P. (1994) 'ILEARN: an intelligent system for teaching and learning about UNIX', in *Proc. of SUUG International Open Systems Conference*, ICSTI, Moscow, Russia, pp.35–41.
- Brusilovsky, P. and Vassileva, J. (2003) 'Course sequencing techniques for large-scale web-based education', *Engineering Education and Lifelong Learning*, Vol. 13, Nos. 1/2, pp.75–94.
- Bull, G.G. (1970) 'The elicitation interview', *Studies in Intelligence*, Vol. 14, No. 2, pp.115–122.
- Carro, R.M., Ortigosa, A., Martin, E. and Schlichter, J. (2003) 'Dynamic generation of adaptive web-based collaborative courses', *Groupware: Design, Implementation, and Use*, Vol. 2806, pp.191–198, Springer.
- Carron, T., Marty, J-C. and Heraud, J-M. (2008) 'Teaching with game based learning management systems: exploring and observing a pedagogical', *Simulation & Gaming*, Vol. 39, No. 3, pp.353–378.
- Castel, A.D., Pratt, J. and Drummond, E. (2005) 'The effects of action video game experience on the time course of inhibition of return and the efficiency of visual search', *Acta psychologica*, Vol. 119, No. 2, pp.217–230.
- Champagnat, R., Delmas, G. and Augeraud, M. (2010) 'A storytelling model for educational games: hero's interactive journey', *International Journal of Technology Enhanced Learning*, Vol. 2, No. 1, pp.4–20.
- Chang, W-C. and Chou, Y-M. (2008) 'Introductory C programming language learning with game-based digital learning', *Advances in Web Based Learning – ICWL 2008*, pp.221–231.
- Cho, B-H., Ku, J., Jang, D.P., Kim, S., Lee, Y.H., Kim, I.Y., Lee, J.H. and Kim, S.I. (2002) 'The effect of virtual reality cognitive training for attention enhancement', *Cyberpsychology & Behavior: The Impact of the Internet, Multimedia and Virtual Reality on Behavior and Society*, Vol. 5, No. 2, pp.129–137.
- Clauzel, D., Sehaba, K. and Prié, Y. (2011) 'Enhancing synchronous collaboration by using interactive visualisation of modelled traces', *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. 19, No. 1, pp.84–97.
- Duitama, F., Defude, B., Bouzeghoub, A. and Carpentier, C. (2005) 'A framework for the generation of adaptive courses based on semantic metadata', *Multimedia Tools and Applications*, Vol. 25, No. 3, pp.377–390.
- Emin, V., Pernin, J-P. and Guéraud, V. (2008) 'Goal-oriented authoring approach and design of learning systems', *Advances in Conceptual Modeling – Challenges and Opportunities*, 5232 *Lecture Notes in Computer Science*, pp.292–301.
- Enochsson, L., Isaksson, B., Tour, R., Kjellin, A., Hedman, L., Wredmark, T. and Tsai-Felländer, L. (2004) 'Visuospatial skills and computer game experience influence the performance of virtual endoscopy', *Journal of Gastrointestinal Surgery: Official Journal of the Society for Surgery of the Alimentary Tract*, Vol. 8, No. 7, pp.876–82; discussion 882.
- Ferguson, C.J., Cruz, A.M. and Rueda, S.M. (2007) 'Gender, video game playing habits and visual memory tasks', *Sex Roles*, Vol. 58, Nos. 3–4, pp.279–286.
- Garris, R., Ahlers, R. and Driskell, J.E. (2002) 'Games, motivation, and learning: a research and practice model', *Simulation & Gaming*, Vol. 33, No. 4, pp.441–467.
- Green, C.S. and Bavelier, D. (2003) 'Action video game modifies visual selective attention', *Nature*, Vol. 423, No. 6939, pp.534–537.
- Green, C.S., Li, R. and Bavelier, D. (2010) 'Perceptual learning during action video game playing', *Topics in Cognitive Science*, Vol. 2, No. 2, pp.202–216.
- Guéraud, V., Adam, J-M., Pernin, J-P., Calvary, G. and David, J-P. (2004) 'L'exploitation d'Objets Pédagogiques Interactifs à distance: le projet FORMID', *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, Vol. 11, p.46.

- Heraud, J-M., France, L. and Mille, A. (2004) 'Pixed: an ITS that guides students with the help of learners' interaction logs', *7th International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, pp.57–64.
- Hussaan, A.M. (2012) *Generation of Adaptive Pedagogical Scenarios in Serious Games*, PhD thesis, University Claude Bernard – Lyon 1.
- Hussaan, A.M., Sehaba, K. and Mille, A. (2011) 'Tailoring serious games with adaptive pedagogical scenarios: a serious game for persons with cognitive disabilities', *International Conference on Adaptive Learning Technologies (ICALT)*, p.5.
- Hwang, G-J., Kuo, F-R., Yin, P-Y. and Chuang, K-H. (2010) 'A heuristic algorithm for planning personalized learning paths for context-aware ubiquitous learning', *Journal of Computers & Education*, Vol. 54, No. 2, pp.404–415.
- Jennings-Teats, M., Smith, G. and Wardip-Fruin, N. (2010) 'Polymorph: dynamic difficulty adjustment through level generation', *PCGames '10 Proceedings of the 2010 Workshop on Procedural Content Generation in Games*.
- Karampiperis, P. and Sampson, D. (2005) Adaptive learning resources sequencing in educational hypermedia systems', *Educational Technology & Society*, Vol. 8, No. 4, pp.128–147.
- Khuwaja, R., Desmarais, M. and Cheng, R. (1996) 'Intelligent guide: combining user knowledge assessment with pedagogical guidance', in Frasson, C.G.G. and Lesgold, A. (Eds.): *Intelligent Tutoring Systems, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 1086, pp.225–233, Springer-Verlag, Berlin.
- Lo, J., Ji, N., Syu, Y., You, W. and Chen, Y. (2008) 'Developing a digital game-based situated learning system for ocean ecology', *Transactions on Edutainment I*, Vol. 5080, pp.51–61.
- Marty, J-C. and Carron, T. (2011) 'Observation of collaborative activities in a game-based learning platform', *IEEE Transactions on Learning Technologies*, Vol. 4, No. 1, pp.98–110.
- Melis, E., Andrés, E., Büdenbender, J., Frischauf, A., Gogvadze, G., Libbrecht, P., Pollet, M. and Ullrich, C. (2001) 'ActiveMath: a generic and adaptive web-based learning environment', *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, Vol. 12, No. 4, pp.385–407.
- Moreno-Ger, P., Sierra, J.L., Martinezortiz, I. and Fernandez-Manjon, B. (2007) 'A documental approach to adventure game development', *Science of Computer Programming*, Vol. 67, No. 1, pp.3–31.
- Nakabayashi, K., Morimoto, Y. and Hada, Y. (2010) 'Design and implementation of an extensible learner-adaptive environment', *Knowledge Management & E-Learning: An International Journal*, Vol. 2, No. 3, pp.246–259.
- Peter, Y. and Vantroys, T. (2005) 'Platform support for pedagogical scenarios', *Journal of Educational Technology and Society*, Vol. 8, No. 3, p.122.
- Rios, A., Millán, E., Trella, M., Pérez-de-la Cruz, J-L. and Conejo, R. (1999) 'Internet based evaluation system', *Artificial Intelligence in Education*, Vol. 64, No. 18, p.1896, p.1898.
- Sanginetto, E., Capuano, N., Gaeta, M. and Micarelli, A. (2008) 'Adaptive course generation through learning styles representation', *Universal Access in the Information Society*, Vol. 7, No. 1, pp.1–23.
- Schneider, D.K., Synteta, P., Frété, C., Girardin, F. and Morand, S. (2003) 'Conception and implementation of rich pedagogical scenarios through collaborative portal sites: clear focus and fuzzy edges', *International Conference on Open and Online Learning*, Citeseer, pp.1–40.
- Settouti, L., Prié, Y., Marty, J-C. and Mille, A. (2009) 'A trace-based system for technology – enhanced learning systems personalisation', *Advanced Learning Technologies, 2009: ICALT 2009: Ninth IEEE International Conference on*, pp.93–97.
- Specht, M. and Oppermann, R. (1998) 'ACE – adaptive courseware environment', *New Review of Hypermedia and Multimedia*, Vol. 4, No. 1, pp.141–161.
- Specht, M., Kravcik, M., Pesin, L. and Klemke, R. (2001) 'Authoring adaptive educational hypermedia in WINDS', *Proceedings of ABIS2001*, Dortmund, Germany, pp.1–8.

- Tetchueng, J., Garlatti, S. and Laube, S. (2008) 'A context-aware learning system based on generic scenarios and the theory in didactic anthropology of knowledge', *International Journal of Computer Science and Applications*, Vol. 5, No. 1, pp.71–87.
- Thomas, J. and Young, R. (2010) 'Annie: automated generation of adaptive learner guidance for fun serious games', *IEEE Transactions on Learning Technologies*, Vol. 3, No. 4, pp.329–343.
- Togelius, J., De Nardi, R. and Lucas, S.M. (2007) 'Towards automatic personalised content creation for racing games', *2007 IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games*, pp.252–259.
- Torrente, J., Moreno-Ger, P., Fernandez-Manjon, B. and del Blanco, A. (2009) 'Game-like simulations for online adaptive learning: a case study', *Proceedings of the 4th International Conference on E-Learning and Games: Learning by Playing. Game-based Education System Design and Development*, Springer, p.173.
- Ullrich, C. and Melis, E. (2010) 'Complex course generation adapted to pedagogical scenarios and its evaluation', *Educational Technology & Society*, Vol. 13, No. 2, pp.102–115.
- Vartiainen, P. (2002) 'On the principles of comparative evaluation', *Evaluation*, Vol. 8, No. 3, pp.459–371.
- Vassileva, J. (1995) 'Dynamic courseware generation: at the cross point of CAL, ITS and authoring', *Proceedings of ICCE*, Vol. 95, pp.290–297.
- Vassileva, J. and Deters, R. (1998) 'Dynamic courseware generation on the WWW', *British Journal of Educational Technology*, Vol. 29, No. 1, pp.5–14.
- Virvou, M. and Katsionis, G. (2005) 'Combining software games with education: evaluation of its educational effectiveness', *Educational Technology and Society*, Vol. 8, No. 2, pp.54–65.
- Zook, A., Lee-Urban, S. and Riedl, M. (2012) 'Automated scenario generation: toward tailored and optimized military training in virtual environments', *FDG '12 Proceedings of the International Conference on the Foundations of Digital Games*, pp.164–171.
- Zyda, M. (2005) 'From visual simulation to virtual reality to games', *Computer*, Vol. 38, No. 9, pp.25–32.

A trace-based approach to identifying users' engagement and qualifying their engaged-behaviours in interactive systems: application to a social game

Patrice Bouvier, Karim Sehaba & Élise Lavoué

User Modeling and User-Adapted Interaction

The Journal of Personalization Research

ISSN 0924-1868

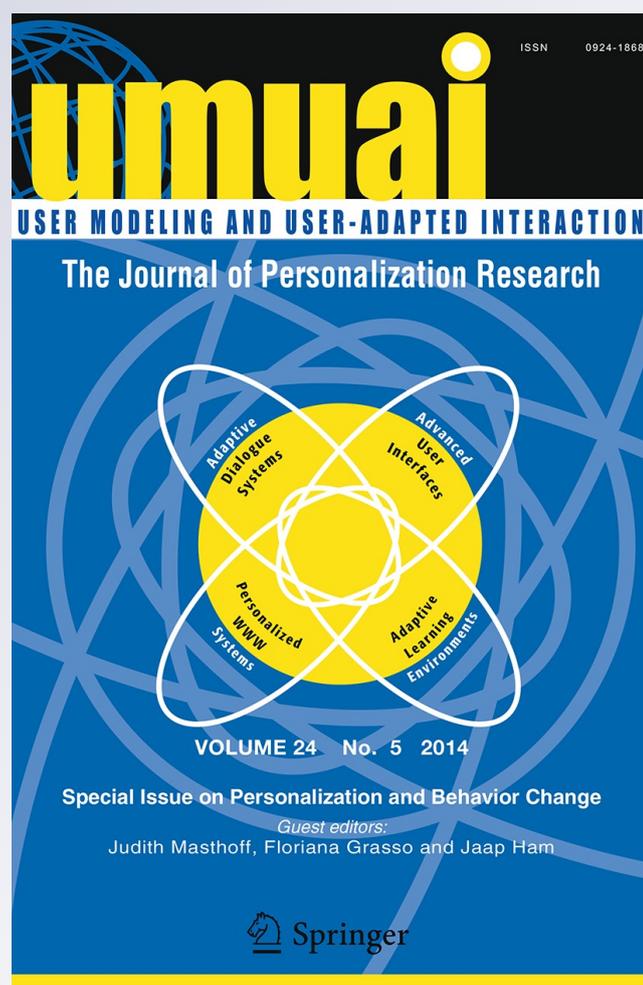
Volume 24

Number 5

User Model User-Adap Inter (2014)

24:413-451

DOI 10.1007/s11257-014-9150-2



Your article is protected by copyright and all rights are held exclusively by Springer Science +Business Media Dordrecht. This e-offprint is for personal use only and shall not be self-archived in electronic repositories. If you wish to self-archive your article, please use the accepted manuscript version for posting on your own website. You may further deposit the accepted manuscript version in any repository, provided it is only made publicly available 12 months after official publication or later and provided acknowledgement is given to the original source of publication and a link is inserted to the published article on Springer's website. The link must be accompanied by the following text: "The final publication is available at link.springer.com".

A trace-based approach to identifying users' engagement and qualifying their engaged-behaviours in interactive systems: application to a social game

Patrice Bouvier · Karim Sehaba · Élise Lavoué

Received: 20 April 2013 / Accepted in revised form: 17 May 2014 / Published online: 1 July 2014
© Springer Science+Business Media Dordrecht 2014

Abstract Analysing and monitoring users' engaged-behaviours continuously and under ecologically valid conditions can reveal valuable information for designers and practitioners, allowing them to analyse, design and monitor the interactive mediated activity, and then to adapt and personalise it. An interactive mediated activity is a human activity supported by digital interactive technologies. While classical metric methods fall within quantitative approaches, this paper proposes a qualitative approach to identifying users' engagement and qualifying their engaged-behaviours from their traces of interaction. Traces of interaction represent the users' activities with an interactive environment. The basis of our approach is to transform low-level traces of interaction into meaningful information represented in higher-level traces. For this, our approach combines three theoretical frameworks: the Self-Determination Theory,

A preliminary version of the approach described in the present article has been presented at the CSEDU 2013 conference (Bouvier et al. 2013a) and has received the Best Paper Award of the conference. A preliminary and shorter version of the implementation section was published at the ICALT 2013 conference (Bouvier et al. 2013b).

P. Bouvier (✉)
Université de Lyon, CNRS,
Université Lyon 1, LIRIS, UMR5205,
7 Avenue Jean Capelle, 69100 Villeurbanne, France
e-mail: pbouvier.pro@gmail.com

K. Sehaba
Université de Lyon, CNRS,
Université Lyon 2, LIRIS, UMR5205,
5 Avenue Pierre Mendès-France, 69676 Bron Cedex, France
e-mail: karim.sehaba@liris.cnrs.fr

E. Lavoué
Magellan, IAE Lyon,
Université Jean Moulin Lyon 3,
6 cours Albert Thomas, BP 8242, 69355 Lyon Cedex 08, France
e-mail: elise.lavoue@univ-lyon3.fr

the Activity Theory and the Trace Theory. Our approach has been implemented and tested in the context of the QUEJANT Projet. QUEJANT targets the development of a system allowing the actors of Social Gaming to analyse players' engagement from an analysis of their activity traces. In order to demonstrate the feasibility of our approach, we implemented the whole process in a prototype and applied it to 12 players' interaction data collected over four months. Based on these interaction data, we were able to identify engaged and non-engaged users and to qualify their types of engaged-behaviours. We also conducted a user study based on a validation of our results by experts. The high prediction rate obtained confirms the performance of our approach. We finally discuss the limitations of our approach, the potential fields of application and the implications for digital behavioural interventions.

Keywords Engagement assessment · Engaged behaviours · Qualitative approach · User behaviour analysis · Self-Determination Theory · Activity Theory · Interaction traces · Social game

1 Introduction

User's engagement is considered as an important dimension (O'Brien and Toms 2008) of the user experience¹ (Hassenzahl and Tractinsky 2006; Law et al. 2009) during an interactive mediated activity. An interactive mediated activity is a human activity supported by digital interactive technologies such as mobile platforms, Internet, computer applications or virtual reality system.

Indeed, several works highlight the significance of the user's engagement in different scientific fields such as digital gaming (Brockmyer et al. 2009), Web applications (Attfield et al. 2011), human-robot interaction (Rich et al. 2010, virtual reality (Schubert et al. 2001) or education (Garris et al. 2002).

Further to their systematic review of engagement in entertainment digital gaming, Boyle et al. (2012) acknowledge that the nature of engagement is still not fully understood and there is a lack of a widely accepted definition of engagement. Many definitions of engagement have been proposed in the literature [see for instance (Chen et al. 2011) in digital gaming, (Sidner et al. 2004) in human-robot interaction or (Fredricks et al. 2004) in education]. While this discussion about the nature of engagement goes beyond the scope of this paper, we still consider it necessary to clarify the object of the present study. In this work we consider engagement as the willingness to have emotions, affect and thoughts directed towards and aroused by the mediated activity in order to achieve a specific objective (Bouvier et al. 2013a). In our view, engagement may continue beyond the duration of the mediated activity. For instance, even when the activity is finished, engaged-users may think back to the previous session of the mediated activity or may anticipate the following one.

The objective of our research is to propose a generic approach to identifying users' engagement and qualifying their engaged-behaviours from their traces of interactions. By trace, we mean the history of users' actions collected in real time from their inter-

¹ According to ISO 9241-210, user experience refers to "a person's perceptions and responses that result from the use or anticipated use of a product, system or service".

actions with a computer system. Through our approach we can analyse engagement continuously (i.e. session after session) and under ecologically valid conditions. We consider that the conditions are ecologically valid since the activity is performed in its natural environment and in authentic conditions (the process underlying our approach does not interfere with the normal course of the activity and so is fully transparent for the user).

This paper proposes a theory-driven and qualitative approach. Our proposal is theory-driven as it relies on a theoretical work on engagement and engaged-behaviours, the Self-Determination Theory, the Activity Theory and the Trace Theory combined through a three-stage process. Our proposal is also qualitative as it can qualify the users' engaged-behaviours according to four categories: environmental-directed, social-directed, self-directed and action-directed. In our model, a behaviour corresponds to a chain of actions (i.e. an aggregation of actions) actually performed by the user in the interactive system. Considering some chains of actions rather than single actions provides comprehensive contextual information on behaviours and thus, facilitates their understanding.

This work has been conducted in the context of the QUEJANT Project. This project targets the development of a system allowing the actors of Social Gaming to analyse players' engagement based on an analysis of their activity traces. This project is undertaken in partnership with the LIRIS laboratory and video games companies.

The proposed approach has been implemented in a prototype that supports the whole process of analysis within the context of the QUEJANT project. We analysed the interaction traces of twelve players selected by experts as representative of user's engaged and non-engaged behaviours. We were able to identify four high-level activities that reflect several types of engaged-behaviours. This implementation shows the feasibility of our approach. We also present the results of a user study that involved three experts. The objective of this study, based on a comparative method, was to validate the performance of our approach with real data. The principle of this evaluation consisted in comparing, for the same traces, the results generated by our prototype with those of three experts. The high prediction rates obtained suggest that our models and prototype are valid in this context. This evaluation also highlights some limitations of our proposal regarding its implementation and the question of scalability.

The assessment of users' engagement during an interactive mediated activity can provide some relevant information for designers, practitioners and facilitators to analyse, design or modify the activity. Indeed, the information on users' engagement given by our tool may be different from their intuitions and may help them to gain a better understanding of the users. These information may also be used to adapt and personalise the form and the content of the application. For instance, the analysis may inform about users' specific interests or about design problems of the activity (like a wrong balance between the different types of engagement). Thus the activity may be modified or adapted accordingly in order to maintain engagement.

The article is organized as follows. Section 2 outlines the background and motivation of our work on engagement for behavioural interventions. Section 3 presents the state of the art regarding the existing methods to identifying user's engagement in interactive activities. Section 4 details the three theories (Self-Determination Theory, Activity Theory and Trace Theory) on which we rely in order to define our approach. Section 5

describes the three stages of our approach to identifying and qualifying engaged-behaviours from the users' interaction traces. Section 6 presents the architecture of the system we have developed and the implementation of our approach in the context of the QUEJANT project. We also give some examples in order to illustrate the process. Section 7 is devoted to the user study we conducted in order to validate our approach. The principle consists of comparing, for the same traces, the results generated by our system with those of three experts. Section 8 summarizes our contribution and highlights some limitations and implications of our works. Section 9 is devoted to our future works.

2 Background and motivation

Our contribution may be particularly relevant in the digital behaviour intervention field. A behaviour change is desirable since the change may be beneficial for instance to the person, to the environment or to society. Thus, behaviour change may be applied in various fields such as health (for instance to promote a good diet (Baranowski et al. 2003) or exercise (Consolvo et al. 2006) or to manage chronic diseases (Camerini et al. 2011), sustainable development (Jackson 2005) or education (Mintz and Aagaard 2012).

The role of interactive technologies such as mobile platforms (Kjeldskov et al. 2012), Internet (Barak et al. 2008), social networking (Maitland and Chalmers 2011), computer games (Baranowski et al. 2008) or virtual reality (Chittaro and Zangrando 2010) in supporting behaviour change in a desirable way is a growing area of research.

But, to change or influence users' behaviour, technology-based behavioural interventions must be attractive and motivating (Vassileva 2012). User's motivation is known as one of the users' key determinants of behaviour change (Michie et al. 2008). Vassileva (2012) notes that "motivation is always personal". And so, what a user can judge attractive and motivating may be experienced in a very different manner by another user. Therefore, personalising the mediated activity according to gamer types (Orji et al. 2014) or to users' specific needs and motivations is a relevant solution to support the effectiveness of the digital intervention (Ritterband et al. 2009; Vassileva 2012). But detecting users' needs and motivations to adapt the intervention accordingly, is particularly challenging.

To achieve better results, some adaptation or personalisation techniques using persuasive technology (Fogg 2002) or affective computing (Picard 2000) strategies may be implemented (Mintz and Aagaard 2012). Persuasive technology deals with interactive technologies intentionally designed to support behaviour change (Fogg 2009). Affective computing aims to understand and modelling emotions and related affective phenomena in order to design interactive systems that can recognize, interpret and simulate them (Honka et al. 2011). The objective of these strategies is to personalise the digital intervention (its form and/or content) according to users' motivations.

In the health intervention field, users' adherence is considered as the key determinant in the effectiveness of treatment or in promoting a healthy lifestyle (Ritterband et al. 2009). Adherence corresponds to the intensity of the use and the variety of intervention program usage by the user (Donkin et al. 2011). Then adherence can be measured through the time spent online or the number of completed tasks (Donkin et

al. 2011). The connection between adherence and engagement is quite obvious and often highlighted (Christensen et al. 2009; Doherty et al. 2012). Beyond the health sphere, users' engagement is also considered as a key factor in supporting behaviour change in the environmental (Froehlich et al. 2009) or educational (Linehan et al. 2011) fields. The information about users' engaged-behaviours obtained with our approach can be used to adapt and personalise the form and the content of the interactive system and so improve the digital intervention.

3 Related research works

As Chen et al. (2011) acknowledge, measuring engagement is not straightforward. In this section, we present and discuss some subjective and objective methods for the assessment of users' engagement.

3.1 Subjective methods

Subjective measures mostly rely on self-report methods like Likert scale questionnaires (Jennett et al. 2008; Brockmyer et al. 2009). These measures seek to assess the engagement and some associated states like the allocation of attention or immersion. Questionnaires present a number of advantages. They are not expensive, they are easy to administer and to analyse. When they are proposed after the activity, questionnaires have the advantage of not disrupting the activity. However, they suffer from numerous biases and limitations, such as the wording of the questions that can lead to ambiguities. This is particularly true when the object of the study is an abstract quantity like engagement.

There are other post-activity and subjective methods, such as interviews (Brown and Cairns 2004), discussions with a small group of participants or asking them to write and describe their experience. This type of study may provide comprehensive results. So it may enable the analysis of engagement in a more accurate and subtle way than with a questionnaire. But, the amount of data collected make the results more difficult to administer and to interpret.

While most self-report methods are performed after the activity, D'Mello et al. (2006) and Arroyo et al. (2009) propose two different methods that can be used during the activity. But this kind of continual self-report may disrupt the activity and so the user experience. Measurement by self-report may also suffer from a lack of introspection on the user's part. When these measures are conducted after the activity, there is no guarantee that the remembered experience is identical to the actual experience. Furthermore, apart from the few methods that can be completed during the activity, self-report methods do not make it possible to reflect the changes in engagement that may occurred during the activity.

So these subjective measures can provide complementary information when conducted in parallel with objective measures of engagement. For example, it may be interesting to know when and why a user is more or less engaged during the activity. But it is necessary to evaluate engagement in an objective way if we want the results to be interpretable and usable by the interactive system to adapt and personalize the mediated activity.

3.2 Objective methods

Objective measures assess users' unconscious or spontaneous manifestations or responses that result from their engagement. The latter may be physiological, emotional or behavioural. For example, [Mandryk et al. \(2006\)](#) use some psychophysiological techniques (recently reviewed by [Kivikangas et al. \(2011\)](#)) to measure users' physiological responses. As engaging tasks lead to a shorter duration estimation, [Häggni et al. \(2007\)](#) evaluate users' altered perception of time. Other behavioural manifestations such as gaze tracking ([Jennett et al. 2008](#)) or body movements ([Bianchi-Berthouze 2013](#)) may be assessed. The assumption underlying these kinds of methods is that the physiological, emotional or behavioural responses reflecting engagement are sufficiently pronounced to be detected. We consider that physiological, emotional or behavioural methods show great promise. But currently, the technology to be implemented may be complex and intrusive and so disrupt the user's experience. Another significant difficulty with these methods is determining which manifestations or responses are objective and really inherent to user engagement. A final limit to these objective methods is that the physiological, emotional or behavioural responses reflecting users' engagement that these methods seek to recognise, depend on the content of the activity.

Metrics, another objective measure, is used in industry and by academics in order to fulfil the constraints mentioned above. It consists in automatically collecting and storing any users' actions performed, through input devices toward the system, such as users' choices, interactions with agents or time spent connected. It is possible to record the complete users' activity. In the gaming domain, this user-centred analysis, mainly based on statistical processing, may be used during the game development ([Kim et al. 2008](#); [Tychsen and Canossa 2008](#)) or after the game launch ([Gagné et al. 2011](#)). The purpose is to inform designers about users' behaviour. Without interfering with the activity, metrics enable one to analyse user's behaviour during the activity and not a posteriori. It also makes it possible to conduct research on the whole population and not only on a selected sample and, over a long time interval. Metrics data are directly and automatically collected and sent by the system. In addition, the process does not require any intervention from the user nor does it disrupt the process underlying the activity. So this process is transparent for the user performing the activity. Regarding the assessment of engagement, [Canossa and Drachen \(2009\)](#) restrain the use of metrics for monitoring users' actions as they consider that metrics cannot give information about abstract or psychological quantities. Yet, [Bauckhage et al. \(2012\)](#) note that since engagement influences the behaviour, some measurable quantities can be considered in identifying engaged-behaviours. However, the main difficulty with metric methods is to select the relevant telemetry data to convert to metrics in order to extract some valuable (i.e. interesting, interpretable and useful) information about engaged-behaviours.

Several data mining or analysis techniques can be applied on user-generated data to analyse the engagement. To assess the impact of tutorials on players' engagement in digital entertainment games, [Andersen et al. \(2012\)](#) collect some raw data such as the number of unique levels completed, the total playing time and the number of times players have loaded the game. Expecting to predict when players will stop playing, [Bauckhage et al. \(2012\)](#) study how engagement evolves over time. They apply

techniques from lifetime analysis on players' playing time information (when they play and for how long) collected from five AAA-games like Tomb Raider or Crysis. Dealing with learners' disengagement detection in web-based e-learning system, [Cocca and Weibelzahl \(2009\)](#) compare eight machine learning techniques on several raw data. The latter are mainly related to reading pages (number of pages read, time spent reading pages) and quiz events. By conducting quantitative measure on isolated (i.e. unlinked) utilitarian metrics, these methods remain on a basic level that only give information about what the user is actually doing during the activity but cannot reach the experiential level where engagement is situated. Indeed, [Pagulayan et al. \(2003\)](#) discuss the differences between hedonic applications such as video games and utility applications such as tax management systems or spreadsheets. One difference is that utilitarian metrics such as the time required to perform a task or the number of tasks successfully completed do not enable the analysis of the experiential level of a mediated activity and thus engagement.

While the methods presented in the previous paragraph only consider some isolated users' actions, sequence-mining methods consider user's engaged-behaviour as sequences of actions. [Beal et al. \(2006\)](#) propose a classification approach to user engagement within an ITS to learn mathematics. For that purpose, they defined five student's time-dependent patterns of actions based on time traces of actions within the ITS: 1. The problem is displayed for at least 10s + selection of the correct answer; 2. The problem is displayed for at least 10s + selection of an incorrect answer + the problem is displayed for at least 10s + selection of the correct answer; 3. Student selected one or more answers within 10s of the problem presentation and no help was viewed; 4. The student clicked on help with inter-click intervals of less than 10s; 5. The problem is displayed for at least 10s + help was requested and presented for at least 10s before an answer was selected or another hint was requested. More recently, [Köck and Paramythis \(2011\)](#) adopt a clustering approach to detect sequences of learner's actions in the Andes ITS. These studies only occur in high-constraint environments like ITS. In such environments, the variety of actions is limited and fully determined by the interactive activity (attempts, request for hint, results etc.) and so the number of items is limited. Thus, sequence-mining may constitute an efficient method for discovering some statistically relevant sequences of actions. But, in low-constrained interactive systems like digital games, a wide range of actions may be possible. For instance in entertainment digital games, players have more freedom to explore the environment or to interact with agents than in an Intelligent Tutoring System. Then, sequence-mining may return a high number of sequences that are difficult to interpret. Also, the sequences of user's actions discovered by the sequence-mining algorithm are not necessarily directly valuable and still need to be interpreted by the analyst. Finally, machine learning for sequential data mining suffers from several issues such as long-distance interactions ([Dieterich 2002](#)). Indeed, if the elements that compose a significant sequence are not adjacent or in the near neighbourhood, the sequence-mining algorithm may not be able to discover this sequence.

To sum up, subjective methods may provide some accurate and subtle information on engagement. But as these methods require the active and voluntary participation of the users, their implementation tends to restrain them to laboratory experimentations. Physiological or behavioural measures show great promise but they are hard

to implement in ecologically valid conditions and they require the users to possess some specific devices. Metrics methods are transparent to the users but the strategies currently implemented do not allow for the assessment of users' engagement during low-constraint interactive mediated activities. In Sect. 5 we present our approach to identifying engagement in low-constraint interactive mediated activities, directly, continuously and under ecologically valid conditions and over a long period of time. But first, in Sect. 4 we detail the theories on which we rely in order to define this approach.

4 Theoretical background

The approach proposed in Sect. 5 relies on three theories: the Self-Determination Theory to identify users' motives, the Activity Theory to deconstruct high-level engaged-behaviours in *activity*, *actions* and *operations* and the Trace Theory to extract meaningful information from low-level interaction traces.

4.1 Self-Determination Theory (SDT)

The Self-Determination Theory (SDT) is a theory of human motivation initiated by [Ryan and Deci \(2000\)](#). The two psychologists developed this theory in order to understand Human personality development and well-being. This theory postulates A) that individuals have three basic psychological needs: competence (sense of efficacy), autonomy (volition and personal agency) and relatedness (social interaction) and B) that Humans strive to fulfill these three needs in order to enhance wellbeing. Then Humans engage in tasks that enable them to satisfy these needs and so their behaviour is determined by this need fulfilment. SDT has been applied in many fields such as education, health or digital gaming.²

4.2 Activity Theory (AT)

The Activity Theory (AT) initiated by [Vygotsky \(1978\)](#) and [Leontiev \(1978\)](#) aims to understand Human development through an analysis of the genesis, structure and processes of activities. AT has been used for more than a few years in the Human-Computer Interactions field ([Kaptelinin and Nardi 2006](#)). Activity Theory proposes to deconstruct human' activities according to the three different levels of analysis it distinguishes:

- An *activity* is performed by a subject, through a tool, in response to a specific need or motive in order to achieve an object (i.e. an objective). The need generates the motive, the motive elicits the *activity*, the object structures and directs ([Kaptelinin 2005](#)) the *activity* towards a desired and anticipated ([Bardram 1997](#)) outcome. The object is what characterizes an *activity* and differentiates one *activity* from another ([Leontiev 1978](#)). The object has to be of high significance to the subject i.e. be self-sufficient.

² See <http://www.selfdeterminationtheory.org> for a list of practical applications of the SDT.

- An *action* (or chains of *actions*) can be seen as the actual transcription of the *activity*. An *action* can be used by different *activities* in order to reach a goal. Thus, the goal of the *action* (and so of the chain of *actions*) depends on the *activity* to which it is subordinated. The difference between objects (*activity* level) and goals (*action* level) is the significance regarding the motive of the *activity*. The object directly depends on the motive that elicits the *activity*. The goals can be seen as sub-object or steps that have to be reached in order to complete the object. *Actions* are performed consciously and with effort through *operations*.
- An *operation* enables the actual realization of the actions. *Operations* are automatized, that means performed without conscious thoughts or efforts. They are determined by the environmental and contextual conditions of the *activity* and can be used by different *actions*.

4.3 Trace Theory (TT)

The Trace Theory (TT) is a framework for collecting, analyzing and representing users' interaction traces (Clauzel et al. 2011). At the lowest level of the framework are the observed elements (labeled *obsels*). Typically, an *obsel* corresponds to a user's raw action collected in the interactive system (like a mouse click or a key pressed on the keyboard). An *obsel* contains a type of event, a timestamp and a set of contextual information useful for characterizing the event and deriving meaning. A primary trace is a set of temporally situated *obsels* that may be connected. A primary trace may contain a very large number of *obsels* whose informational level may be very low. So, it may be difficult to extract valuable knowledge from a primary trace. The formalization proposed by Settouti et al. (2009) aims to facilitate the transition from primary traces to meaningful information represented in high-level traces. It consists in transforming a primary trace into a trace of a higher level based on a rule-based system. A rule consists in temporal constraints or in operations on the contextual attributes performed between *obsels*. The transformation process can aggregate several *obsels* according to the rules. The *obsels* generated constitute the new transformed trace. The experts' knowledge that has been injected during the construction of the rules leads to the extraction of a more complex or abstract knowledge than the one that can be initially extracted from the primary trace.

5 A qualitative approach to identifying and qualifying engaged-behaviours from users' interaction traces

We consider engagement as the willingness to have emotions, affects and thoughts directed towards and aroused by the mediated activity, in order to achieve a specific objective (Bouvier et al. 2013a). This means that emotions such as enjoyment, pride or accomplishment are provoked by the game or that players' thoughts are focused on the game during, but also between, gaming sessions. In this view, engagement is considered as a connection maintained between players and the gaming sessions. From an operational point of view, we qualify in this study a player as being engaged since

s/he manifests at least one engaged-behaviour (i.e. at least one *obsel* from the *activity* level is generated).

In this section, we propose an approach to identifying engaged-behaviours from the users' interaction traces. Two main questions have to be addressed:

1. How can engaged-behaviours be distinguished from non-engaged-behaviours?
2. How can these engaged-behaviours be detected among all the collected data?

To address the two questions above, we propose an approach that combines the three theories mentioned in Sect. 4. Our approach is composed of three stages explained in the following three subsections. In part 5.1, we answer the first question mentioned above by identifying four types of high-level engaged-behaviours. Parts 5.2 and 5.3 allow us to address the second question. First, in part 5.2 we explain how we deconstruct these high-level engaged-behaviours into *activities*, chains of *actions* and chains of *operations* actually performed within the interactive system. Then, in part 5.3 we explain how, among all the collected data, we detect all these elements (identified in part 5.2) that constitute an engaged-behaviour.

5.1 Determining engaged-behaviours with the SDT

The aim of this stage is to distinguish engaged-behaviours (i.e. behaviours reflecting an engagement) from non-engaged behaviours. To structure the analysis of engaged-behaviours, we first consider that most of the mediated interactive activities consist in performing actions (decision-making process), directly or through a character (by adopting a specific role), within an environment (or at least on a frame) which may involve social interaction with human or virtual agents. The role adopted during the mediated activity may be the one intended by the mediated activity or another one independently chosen by the participant. This categorization enables us to identify four types of high-level behaviours.

Then, in agreement with the SDT (introduced in part 4.1) we consider that users engage in behaviours that enable them to fulfil their basic needs. This leads to the identification of the four following types of engaged-behaviours:

- environmental, in relation to the need for autonomy and directed towards the environment or frame that support the activity;
- social, in relation to the relatedness need and directed towards the social connections that may occur during the activity;
- self, in relation to the autonomy need and directed towards the character or role adopted during the activity;
- action, in relation to the competence and autonomy needs and directed towards the actions to perform during the activity.

This categorization of engaged-behaviours (environment-directed, social-directed, self-directed and action-directed) aims to define some hypotheses about the high-level engaged-behaviours that we seek to detect within the recorded users' actions. By relying on these basic psychological needs perspective rather than on empirical observation of users' behaviours in interactive systems, our approach aims to determine a wide and non-stereotyped range of behaviours.

5.2 Characterizing engaged-behaviours with Activity Theory

The work conducted during the first stage of our approach (Sect. 5.1) enables us to establish the relationships between users' needs and the corresponding high-level engaged-behaviours. These high-level engaged-behaviours remain distant from the users' actions actually performed during the activity. Thus, it is necessary to extend these relationships to the actions actually performed. To this end we combine the SDT with the Activity Theory (described in part 4.2). We use the Activity Theory to deconstruct an engaged-behaviour (determined during the previous stage using the SDT) in *activity*, chains of *actions* and chains of *operations* actually performed in the interactive system by the users.

According to the Activity Theory the need generates the motive and the motive elicits the *activity* (see Sect. 4.2 page 8). We consider that the emotions felt by the users when one of their needs is fulfilled constitute the motive of the engagement. So the emotions sought determine users' engaged-behaviours within the interactive system. The support and the orientation of the emotions are specific to each of the four types of engaged-behaviours and so can differentiate the four types of engaged-behaviours (environmental-oriented vs. social-oriented vs. self-oriented vs. action-oriented). For instance the emotions that motivate the social-engagement *activities* are oriented towards the other users, while the emotions that motivate the action-engagement *activities* are oriented towards the action to perform. But within each type of engaged-behaviours, while the emotions felt may be different, the emotions share the same orientation. For instance the emotions related to collaboration or to social recognition are different but share the same orientation towards the other users.

Table 1 illustrates the categorization of the four types of engaged-behaviours according to the basic needs these engaged-behaviours can fulfill and the elicited associated emotions. We also list some examples of *activities* that the users may conduct according to the entertainment digital game context of the QUEJANT project. Regarding the elicited (or at least sought) emotions, we use the term pleasure as a blanket term that can cover several basic emotions such as joy, surprise, fear, stress and non-basic emotions such as curiosity or enjoyment (Calvo and D'Mello 2010). The frequency and the intensity of these engaged-behaviours depend on the nature of the mediated activity.

The decomposition of an engaged-behaviour into *activities*, chains of *actions* and chains of *operations* is illustrated in Fig. 1. Within the social-engagement type, Motive A and Motive B share the same orientation towards the other users and generate *Activity A* and *Activity B* respectively. Object A and Object B are the object of *Activity A* and *Activity B* respectively. As the object structures and directs the *activity*, the object determines the underlying chain of *actions*. For instance *Activity A* is supported by the chain *Action 1 - Action 2 - Action 4* while *Activity B* is supported by the chain *Action 2 - Action 3 - Action 5*.

The example above highlights that an *action* (in this case *Action 2*) may belong to several chains of *actions* which have different goals. Indeed, as an *activity* is realised through a specific (i.e. unique) chain of *actions*, the goal of the chain depends on the *activity* to which the chain is subordinated. For instance *Action 2* whose goal (entitled Goal 2) remains stable may belong to two different chains of *actions*. But

Table 1 Categorization of the four types of engaged-behaviours according to the universal and basic needs these engaged-behaviours can fulfill and some emotions associated with need fulfillment

	Environmental engagement	Social engagement	Self engagement	Action engagement
SDT basic psychological needs	Autonomy towards the environment	Relatedness	Autonomy towards the character or role	Competence Autonomy towards the actions
Elicited emotions	Escapism, Curiosity, Surprise, Imagination, Relaxation, Aestheticism	Pleasure in social connectivity, Pleasure in collaboration or competition, Pleasure in social recognition	Pleasure in possessing, Pleasure in managing an avatar, Pleasure in disguising themselves or adopting a role	Accomplishment, Self-esteem, Arousal
Activities	Virtual trip Trying to reach the limit of the game Discovering extra-content	Expanding social network Livening up the group of actual friends Enjoyment with others	Developing the character around the character	Mastering the game Completing challenges Elaborating a strategy

Example of *activities* users may conduct in an entertainment digital game

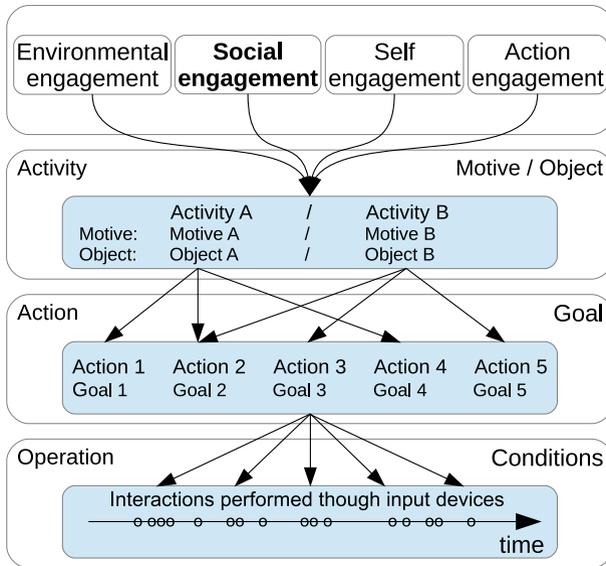


Fig. 1 Our approach combines the Self-Determination Theory and Activity Theory in order to decompose an engaged-behaviour into *activity*, chain of *actions* and chain of *operations*

these two chains have their own goals (Goal A and Goal B) according to which *activity* (*Activity A* and *Activity B* respectively) the chain belongs to. Finally each *action* is realized through its own chain of *operations* actually performed with the input devices provided. Similarly, an *operation* may belong to several chains of *operations* in order to enable the realization of different *actions*.

5.3 Detecting engaged-behaviours with Trace Theory

To detect the engaged-behaviours among all the actions recorded, we combine the Activity Theory and the Trace Theory (see part 4.3) by establishing the following correspondences:

- An *operation* corresponds to an *obsel* from the primary trace.
- An *action* corresponds to an *obsel* from the transformed trace.
- An *activity* corresponds to an *obsel* from the highest-level transformed trace.

The Trace Theory can detect the relevant *operations* among all the collected and stored *obsels* and then reify (through the transformation process) the relationship between a chain of *operations* and an *action* and between a chain of *actions* and an *activity*. These relationships have been identified during the second stage of our approach using the Activity Theory. The *obsels* which compose the highest-level trace correspond to the *activities* that belong to a specific engaged-behaviour. The highest-level transformed trace may have been generated after several transformation processes. For instance in Fig. 2, the highest-transformed trace that corresponds to the

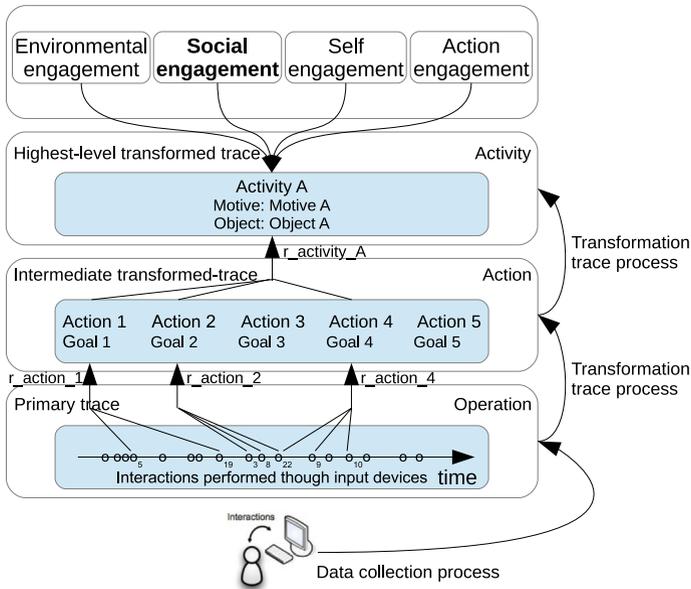


Fig. 2 To detect user’s engaged-behaviours among the collected and recorded data, our approach uses the Trace Theory to reify through the transformation process, the relationship between a chain of operations and an action and a chain of actions and an activity

activity level has been computed after two transformations. The first transformation has enabled the generation of the intermediate transformed trace (of action level).

Let us consider an example illustrated in Fig. 2. During a session we collect numerous *obsels* from different types (i.e. which may correspond to different specific events that occurred during the activity). In relation to the work conducted during the second stage of our approach, a transformation rule labelled r_{action_1} is defined in order to aggregate some specific *obsels* from the primary trace (see Sect. 6.4 for an example of rule). This rule enables us to detect, in the primary trace, the presence of the targeted specific chains of operations according to some temporal constraints determined during the second stage. For instance, if operation 5 and operation 19 occurred within the right time interval then the transformation rule generates a new *obsel* with higher-level labelled Action 1 in the transformed trace of level Action. The time intervals are defined during a step of analysis of the game that belongs to this third stage. This step involves analysing the traces in order to determine the suitable time interval for each rule. The input data (i.e. the lower-level *obsels*) and the constraints constitute the signature of a rule. Since this signature is unique, the higher-level *obsels* generated are from a single type and so with a single purpose.

The transformation process has also a rule labelled r_{action_2} that enables us to aggregate another targeted chain of operations (for instance operation 3, operation 8 and operation 22). This transformation rule may generate an *obsel* labelled Action 2 in the transformed trace of level Action. A third rule labelled r_{action_4} is defined in order to generate the *obsel* Action 4 from its own chain of operations (for instance

operation 22, operation 9 and operation 10). This example highlights that an *operation* (in this case *operation 22*) may belong to several chains of *operations* in order to enable the realization of different actions (*Action 2* and *Action 4*).

Then in a second transformation process of higher level, a rule labelled *r_activity_A* is defined in order to aggregate the three *obsels* of level *Action* labelled *Action 1, Action 2* and *Action 4*, according to a specific temporal constraint. If this chain of actions occurred during the right interval time then the *obsel Activity A* is generated. This *obsel* belongs to the trace of highest-level i.e. the *activity* level. The same process is reiterated in order to define and instantiate the set of rules that enable us to identify each *action* and each *activity* identified during the second step.

5.4 Summary of the proposed approach

Figure 2 illustrates the three stages of our approach. The first stage (see Sect. 5.1) combines a theoretical work on engagement, engaged-behaviours and the Self-Determination Theory. By determining some high-level engaged-behaviours, this stage allows us to address the first question mentioned at the top of the Sect. 5 (*How can engaged-behaviours be distinguished from non-engaged-behaviours?*). The second and third stages (see Sects. 5.2, 5.3 respectively) allow us to address the second question identified at the top of the Sect. 5 (*How can these engaged-behaviours be detected among all the collected data?*). Indeed, the high-level engaged-behaviours identified during the first stage may be very distant from the users' actions actually performed in the system. So, to identify the relationship between these high-level engaged-behaviours and the actions actually performed we adopt an Activity Theory perspective in the second stage. The latter enables us to deconstruct these high-level engaged-behaviours into *activities*, chains of *actions* and chains of *operations* actually performed by the users. Then, in the last stage, we rely on the Trace Theory to detect and extract the relevant chains of *operations* among all the collected and recorded actions and also to reify (through the transformation process) the relationship between a chain of *operations* and an *action* and between a chain of *actions* and an *activity*. So, a chain of *actions* is an aggregation of several user's actions according to the temporal constraints or to the characteristics of the actions. Considering some chains of *actions* rather than single *actions* provides comprehensive contextual information on behaviours and thus, facilitates their understanding. Each *activity* belongs to a specific type of engaged-behaviour.

6 Implementation

We implemented all the processes underlying our approach: collecting the system- or user-generated events, storing and organising the data, characterising the engaged-behaviours and detecting the engaged-behaviours within the interaction traces. This implementation is based on an actual commercial game rather than on a laboratory product. This enables us to analyse actual players' engaged-behaviours in low-constraint interactive systems, directly, continuously, under ecologically valid conditions and over a long period of time.

6.1 Context

For this implementation, we used the BodyBoarding game developed by the company IntellySurf.³ The game consists in travelling from spot to spot on the five continents in order to perform some bodyboarding maneuvers, to complete some challenges or to play against other players. The game has a strong social dimension in that it encourages competition between players. It also promotes game events sharing on social networks. In addition, by offering a realistic rendering of the bodyboarding activity (performing maneuvers, the weather and wave conditions depend on actual meteorological and topographical reports) the game highlights a strong action dimension. Thus, this game provides a variety of engaged-behaviours that can cover the four types of engaged-behaviours identified in Sect. 5.1.

YouRiding BodyBoarding game already collects information about the players' actions. The objective is twofold. The first one, technological, aims to track bugs, to check the effectiveness of the game (response time etc.) or to ensure the relevance of the gameplay⁴ (level of difficulty of the tutorial, use of the help information etc.). The second objective is to compute some marketing metrics such as retention rate,⁵ DAU (Daily Active Users), MAU (Monthly Active Users) or ARPU (Average Revenue Per User).

6.2 Architecture

Figure 3 illustrates the architecture underlying our approach. The BodyBoarding game developed by our partners is instrumented to automatically collect players' interactions. This collection uses a classic client-server architecture with JavaScript and PHP scripts in order to trigger the collection of the data and then, their storage in a MySQL database (see Fig. 3—step 1). Each collected *obsel* contains two timestamps, a name that identifies its type and at most three attributes that provide some contextual information such as the name of the button that triggered the collection or the ID number of an object (spot, equipment etc.). The first and second timestamps refer to the beginning and the end of the event respectively. Thus, most of the time the two timestamps of an *obsel* of the primary trace are the same.

The interaction data are then exported from the MySQL database in a CVS (Comma-Separated Values) file (Fig. 3—step 2). The following example is extracted from the CVS file of a collected trace.

```
08/01/2012 00:42:10;08/01/2012 00:42:10;open_profile_skills;skillsBtn
08/01/2012 00:42:42;08/01/2012 00:42:42;open_profile_improvements;improvementBtn
08/01/2012 00:43:14;08/01/2012 00:43:14;open_shop;placeZone_spotSurfShop
08/01/2012 00:43:46;08/01/2012 00:43:46;item_equip;24
08/01/2012 00:44:02;08/01/2012 00:44:02;goto_spot;placeZone_spot_button_1;66
08/01/2012 00:44:16;08/01/2012 00:44:16;play_start_on_spot;66
```

³ YouRiding: <http://www.youriding.com>.

⁴ In digital gaming, gameplay is a blanket term which refers to the structure, the dynamics or the interactive aspects of a game.

⁵ Retention rate is the percentage of the people who used a service in month 1 and are still using it in month 2.

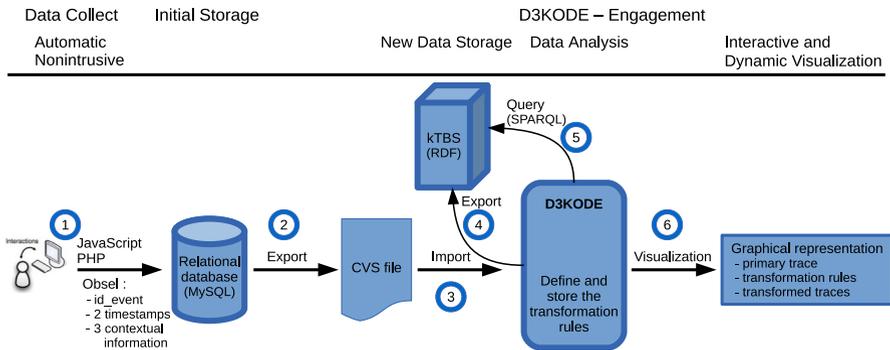


Fig. 3 The process underlying our approach. The main steps are: collecting the system-or-user generated events, storing and organising the data and qualifying users' behaviours

The primary traces are recorded in a trace based management system called kTBS⁶ (Champin et al. 2011). The kTBS can store and execute the transformation rules in order to compute the transformed traces. The kTBS records the primary and transformed traces in RDF⁷ format. The transformation rules are written in SPARQL⁸ query language in the kTBS. To interact with the kTBS, we use the graphical software D3KODE⁹ (Champalle et al. 2012). D3KODE implements the Trace Theory (presented in Sect. 4.3) by providing the following features: loading the CVS data as a primary trace, creating the transformation rules and visualising the primary and transformed traces. The CVS file is loaded (Fig. 3—step 3) into the tool D3KODE. The primary trace is converted (Fig. 3—step 4) into RDF format by D3KODE in order to be stored in the kTBS. D3KODE can graphically create the transformation rules and convert them into SPARQL language so that they can be recorded in the kTBS (Fig. 3—step 5). The kTBS executes the transformation rules to compute the transformed traces. The transformed traces are also stored under RDF format in the kTBS. Finally D3KODE proposes a graphical representation of the primary and transformed traces and of the transformations that link them (Fig. 3—step 6). See Fig. 5 for a screenshot of this last step.

6.3 Identification of high-level activities

Considering the features of the game studied within the QUEJANT project, we identify four *activities* from three of the four types of engaged-behaviours identified in Sect. 5.1. Indeed, the self-engagement dimension is not sufficiently promoted to be detected in the user traces. We characterized the following four *activities*:

⁶ kernel for Trace-Based Systems.

⁷ <http://www.w3.org/RDF/>.

⁸ <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>.

⁹ Define, Discover, and Disseminate Knowledge from Observation to Develop Expertise.

- Social-engagement dimension:
 - the *activity* ‘Develop new social relationship’ is supported by the *actions*: ‘Propose confrontation’, ‘Find players’, ‘Be interested in other player’, ‘Ask to be friend’ and ‘Accept to be friend’;
 - the *activity* ‘Share moment with real friends’ is supported by the *actions*: ‘Share game events on social networks’, ‘Import real friends into the game’ and ‘Propose confrontation with friends’;
- Action-engagement dimension:
 - the *activity* ‘Achieve challenges’ is supported by the *actions*: ‘Seek information about challenges’, ‘Improve character equipment’, ‘Improve player’ and ‘Improve character’;
- Environment-engagement dimension:
 - the *activity* ‘Increase knowledge about the game’ is supported by the *actions*: ‘Seek information about the game’, ‘Practice the tutorial’ and ‘Configure the game options’.

We also decomposed each *action* in the chain of *operations* that enables the actual realisation of the *actions*. These *operations* are performed with the input devices (which in our case are the mouse and the keyboard).

6.4 Transformation rules

Transformation rules allow us to reify the relationships between the chains of *operations* (belonging to the primary trace) and the *actions* (belonging to the intermediate transformed trace) and between the chains of *actions* and the *activities* (belonging to the highest-level transformed trace). In this part, we first give an example of the transformation process that we implemented in D3KODE. Then we present an example of transformation rule.

During sessions, we collect many *obsels* from 89 types. Each type of *obsel* corresponds to a specific type of action that the player can undertake in the game. Among the 89 types of collected actions, i.e. types of *obsels* in the primary trace, one can find for instance ‘Proposing a challenge to another player’, ‘Buying new equipment for the character’, ‘Changing the configuration of the keyboard’, etc.

For instance in the social-engagement dimension (see Fig. 4 for an illustration), we identified the *activity* ‘Develop new social relationship’ whose motive is ‘Feeling emotions related to social interactions’ and object is ‘Increasing the number of Friends’. We defined a transformation rule labelled ‘Find players’ in order to aggregate some specific *obsels* from the primary trace. This rule makes it possible according to some temporal constraints to detect the presence of the pair of *obsels* ‘game_social_open’ and ‘game_social_search’ in the primary trace. The presence of these *obsels* in the primary trace indicates that the player has opened the social panel of the game and has looked for other players according to several attributes such as the name and/or the town or the country. If these *obsels* occurred within a certain time interval, then the transformation rule generates a new *obsel* with higher-level labelled ‘Find players’ in the transformed trace of *action* level. The transformation rule labelled ‘Propose

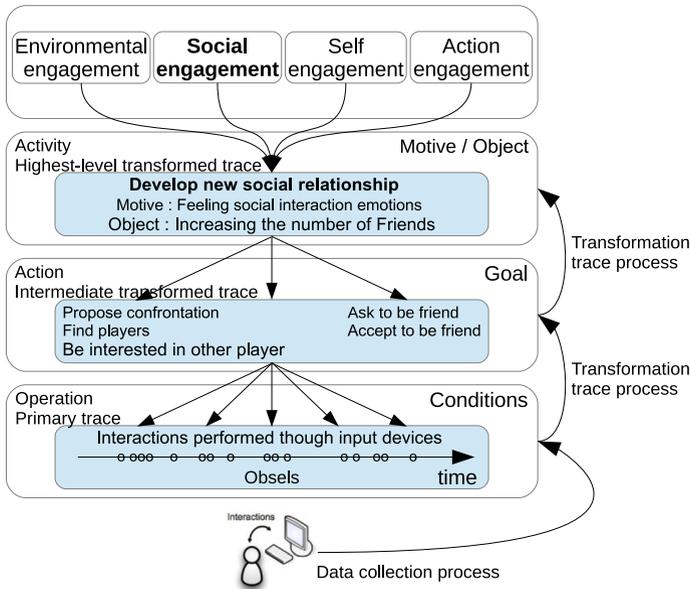


Fig. 4 Example of the deconstruction of a social engaged-behaviour in activity, chain of actions and chain of operations performed during the QUEJANT project. To identify, qualify and detect engaged-behaviours within users’ traces of interaction, our qualitative approach combines a theoretical work on engagement and engaged-behaviours, Self-Determination Theory, Activity Theory and Trace Theory

confrontation’ enables to aggregate some specific *obsels* regarding the phase of play where several players challenge one another on the same wave. This rule may generate an *obsel* labelled ‘Propose confrontation’ in the transformed trace of the *action* level. This process was reiterated for the three other *actions* (‘Be interested in other players’, ‘Ask to be friend’ and ‘Accept to be friend’). Then a second transformation process of higher level contains some rules to aggregate the previously generated *obsels* of *action* level. The highest-level transformed trace may contain the *obsel* of highest-level that corresponds to the *activity* ‘Develop new social relationship’.

A rule can rely on temporal constraints or on the contextual attributes. Lets consider an example illustrated in Fig. 5. Figure 5 is a screenshot extracted from D3KODE that graphically represents the transformation process. For a better readability, this example representing the identification process of the *activity* ‘Develop new social relationship’ has been simplified by considering only two underlying *actions*: ‘Propose confrontation’ and ‘Be interested in other players’. Regarding this graphical representation, D3KODE allows one to zoom and translate within the traces (and so the transformation process). The *obsels* ‘Propose confrontation’ and ‘Be interested in other players’ indicate that the player proposes a challenge to other players and that the player opens the players’ profile page respectively.

According to our characterisation, the *obsels* ‘challenge_wait’, ‘challenge_start’ and ‘challenge_end’ may be aggregated if they match the temporal constraint. If the condition is validated then the *obsel* of *action* level ‘Propose confrontation’ is gener-

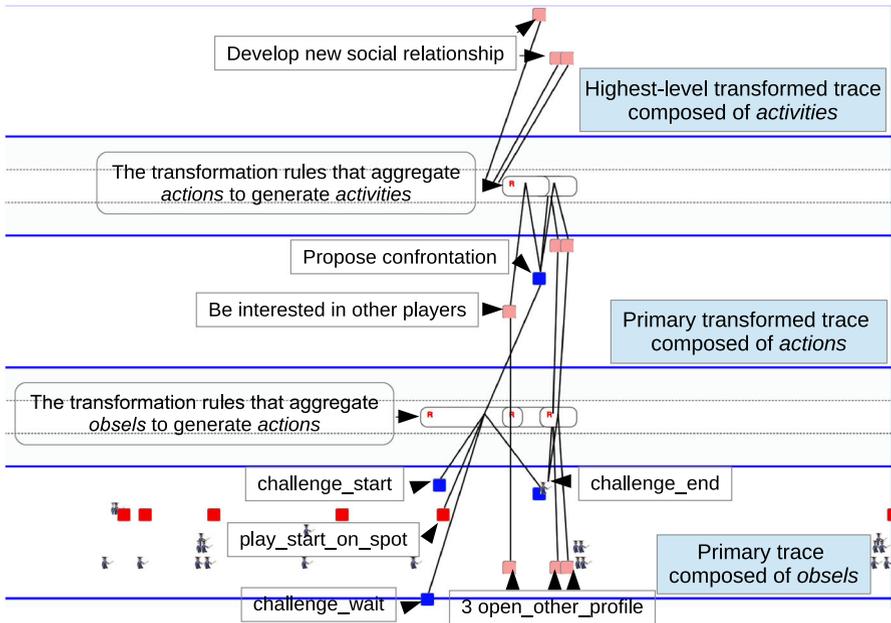


Fig. 5 Graphical representation in D3KODE of the transformation process from a primary trace to the highest-level transformed trace. In the primary trace the red, blue and pink squares are representing play_start_on_spot, challenge (_wait, _start and _stop) and open_other_profile operations, respectively. In the primary transformed trace, the blue and pink squares are representing Propose confrontation and Be interested in other players actions respectively. In the highest level transformed trace the pink squares are representing the activity Develop new social relationship

ated. The following rule detects when these three *obsels* occurred in the primary trace in the interval of 10 min (the temporal constraint is defined in seconds).

```
{
(game_challenge_wait.hasEnd < game_challenge_start.hasBegin) AND
(game_challenge_start.hasEnd < game_challenge_end.hasBegin) AND
(game_challenge_end.hasBegin - game_challenge_wait.hasEnd) <=600
}
```

The generated ‘Propose confrontation’ *obsel* incorporates the information from the underlying *obsels*. So, its begin and end timestamps take the ‘game_challenge_wait.hasEnd’ and ‘game_challenge_end.hasBegin’ timestamps respectively. In Fig. 5, the temporal dimension of the *obsel* ‘Propose confrontation’ is loosely represented by a blue square. Indeed it would be more relevant to represent this *obsel* by a blue rectangle to reflect the duration of this *action*. Also, the *obsel* ‘open_other_profile’ is simply selected and transformed in the *obsel* of *action* level ‘Be interested in other players’.

In a second step, the *obsels* ‘Propose confrontation’ and ‘Be interested in other players’ are aggregated, if they match the temporal constraint, in order to generate the *obsel* of *activity* level ‘Develop new social relationship’. We consider the following three cases:

- the player opens the profile of another player and then proposes a confrontation to this player
- the player opens the profile of another player during the confrontation
- the player opens the profile of the other player just after the confrontation

The following rule enables to address these three cases respectively:

```

{
  (be_interested_in_other_players.hasEnd < propose_confrontation.hasBegin) AND
  ((propose_confrontation.hasBegin - be_interested_in_other_players.hasEnd) <=120)
}
OR
{
  (propose_confrontation.hasBegin < be_interested_in_other_players.hasBegin) AND
  (be_interested_in_other_players.hasEnd < propose_confrontation.hasEnd)
}
OR
{
  (propose_confrontation.hasEnd < be_interested_in_other_players.hasBegin) AND
  ((be_interested_in_other_players.hasBegin - propose_confrontation.hasEnd) <= 120)
}

```

In the actual implementation, we defined in D3KODE the whole set of rules that make it possible to generate all the *actions* underlying the *activity* ‘Develop new social relationship’. We iterated the transformation process to generate all the *obsels* of highest-level that indicate the presence of the *activities* reflecting the four engaged-behaviours identified in Sect. 6.3.

6.5 Summary of the implementation

This implementation shows the feasibility of our approach. The implementation required several steps. We first set up an architecture that can collect and store the data and to implement our approach. We collected and integrated in our system 12 users’ interaction traces (see Sect. 7.2.1 for details on these data). Then we analysed the game in order to characterize four *activities* reflecting three of the four types of engaged-behaviours identified in Sect. 5.1. The fourth step consisted in determining and implementing in D3KODE the whole set of transformation rules that can reify the relationship between the chain of *operations* and an *action*, and between the chain of *actions* and an *activity*. Then we applied these transformation rules to the 12 interaction traces that we collected. This implementation shows the feasibility of our approach and its relevance to identifying and qualifying engaged-behaviours in interactive mediated activities. This implementation also highlights some limitations that we discuss in Sect. 8.2.1.

7 User study

We performed a user study to validate the performance of our approach 1) to distinguish engaged-users from non-engaged ones, and 2) to identify the types of engaged-behaviours for the engaged users. The evaluation of this performance is based on an agreement rate between the results returned by our prototype and the results given by experts on the interaction traces of engaged and non-engaged users.

Table 2 Statistics of the traces of the Users Group 1 composed of the 6 engaged-players

	Trace_1	Trace_2	Trace_3	Trace_4	Trace_5	Trace_6
Period of activity	01/03 04/29	01/08 04/29	01/04 04/24	01/08 04/22	01/06 04/18	01/08 04/27
Number of <i>obsels</i>	10,718	4,075	3,137	4,658	4,874	4,846
Variety of <i>obsels</i> (/89)	62	51	53	56	50	58

7.1 Experts involved in the validation

This study involved three experts in social gaming. Two experts are Chief Executive Officer (CEO) and one expert is Chief Technology Officer (CTO) in digital game companies since more than five years. They were selected for several reasons:

- They are CEO and CTO of the companies involved in the QUEJANT project but they were not involved in the theoretical and implementation parts of our approach, presented in the previous sections. This ensures that there is no bias in this study.
- They have a high level of expertise in social gaming and more precisely in the analysis of players' engagement. So they know how to identify engagement and types of engagement based on the interaction traces of the players.
- They are all currently working on the BodyBoarding game we used for the user study and thus have in-depth knowledge of this game (mechanics, gameplay, data collected) and of the players.

7.2 Materials

The experts were provided with two types of materials: interaction traces of players and documents.

7.2.1 Interaction traces of players

We collected the traces of a representative sample of players, according to a selection made by game designers of the BodyBoarding game. These designers are in charge of following the daily activities of hundred of thousands of players and adjust the game based on these observations. They selected traces of players considered as being representative, based on information from their profiles and their activities in the game.

12 raw traces of 12 different players¹⁰ were transmitted by game designers according to two groups: Users Group 1 is composed of six players considered as engaged and Users Group 2 of six non-engaged players. These twelve traces were communicated with these engaged or non-engaged labels and without any other information. Tables 2 and 3 summarize the descriptive information on the traces for the two groups.

¹⁰ When players register for the game, it is stipulated that their activity can be anonymously collected for the purpose of improving the service or the gaming experience.

Table 3 Statistics of the traces of the Users Group 2 composed of the 6 non-engaged players

	Trace_7	Trace_8	Trace_9	Trace_10	Trace_11	Trace_12
Period of activity	01/01 04/29	01/02 02/03	01/03 04/10	01/09 04/22	01/30 04/03	01/31 04/03
Number of <i>obsels</i>	1,757	313	608	103	323	250
Variety of <i>obsels</i> (/89)	48	27	42	25	32	36

The interaction traces were collected in the period from January to April 2012. A trace may contain up to 89 types of *obsels* and can be composed of several thousands of *obsels* (10718 *obsels* for the most active player). These *obsels* may give information about the players' routes (which zone, which spot, which specific panel is opened etc.) but also about the players' strategy (visits to the surf school, changes in the equipment etc.). Although these traces are potentially composed of 89 types of *obsels* (according to the player's actions), 50–60% of the primary traces are composed of the four *obsels* *goto_map*, *goto_zone*, *goto_spot* and *play_start*, which reflect the path followed by the player in the game.

7.2.2 Documents

We communicated to the experts a document stating our position regarding the nature of engagement and describing, through simple examples, the four types of engagement that we have identified (see Appendix A). It was important to give them examples for each type of engaged behaviours so that they understand the distinction we make between each type. However the definition of engagement given to the experts was of secondary importance because the experts were selected according to their expertise in this area.

The experts were also provided with an online questionnaire. The experts had three options (Yes, No, Without opinion) in answer to the five following questions (the questions were originally in French so we provide an English translation here):

1. Would you say that the Trace_X corresponds to an engaged-player?
2. Would you say that the Trace_X corresponds to a social-directed engagement?
3. Would you say that the Trace_X corresponds to an action-directed engagement?
4. Would you say that the Trace_X corresponds to an environment-directed engagement?
5. Would you say that the Trace_X corresponds to a self-directed engagement?

The questionnaire was composed of 12 pages (1 page per trace/player) containing the same five questions.

7.3 Procedure

The three experts evaluated the engagement and the type of engagement of players from these interaction traces. We note that the experts felt qualified to make this evaluation from the raw traces. The evaluation followed the following procedure:

- The experts were gathered in one room so that we can answer questions if needed.
- The twelve users' traces were mixed before being communicated to the experts. The experts had no information about the players or the traces.
- They read the definition and examples of different types of engagement presented a document (see Appendix A). We asked them to keep this information on hand while completing the questionnaire.
- The 12 log files (referred to Trace_A to Trace_L) were sent to the three experts by email so that they can read them while they answer the questionnaire.
- We asked them to fill in the five repeated questions of the questionnaire for the 12 log files (i.e. 12 x 5 answers to give). They so indicated via the online questionnaire if, after reading the log file, they thought that the player is engaged and, if so, to precise the type(s) of engagement.
- They completed the questionnaire in one time.

The participants asked no questions, neither on the definitions and examples given on engagement, nor on the interaction traces.

We gave the experts simple rules to respect:

- There is no right or wrong answer. Thank you for giving your first opinion simply by selecting your answer.
- Answer the questions independently of each other (for example, a player may have several types of engagement).
- Do not skip a question and do not come back on a question to change your answer.
- Do not discuss this evaluation before having communicated the results.

To extract a meta-expertise from each triplet of experts' answers, we applied the following rules to each question:

1. If the three experts give the same answer (three Yes or three No) then their opinion is retained.
2. If two experts give the same answer (two Yes or two No) and the third expert gives an opposite answer or Without opinion, then the opinion of the majority is retained.
3. If two experts give a Without opinion answer and the third answers by a Yes or a No, then the significant (the Yes or the no) answer is retained (this case did not occur in this study).
4. If the three experts disagree (one Yes, one No and one Without opinion), then the answers are omitted.

7.4 Results

We introduced the user traces into D3KODE in order to analyse them automatically. In order to do this, D3KODE was configured with all the transformation rules (see Sect. 6.4) that enable to detect the four *activities* mentioned in Sect. 6.3. We considered a player as being engaged if this player expressed at least one engaged-behaviour (i.e. at least one *obsel* from the *activity* level occurred in any implemented *activity*). As explained in Sect. 6.3, we implemented two social-directed *activities*, one action-directed *activity* and one environment-directed *activity*.

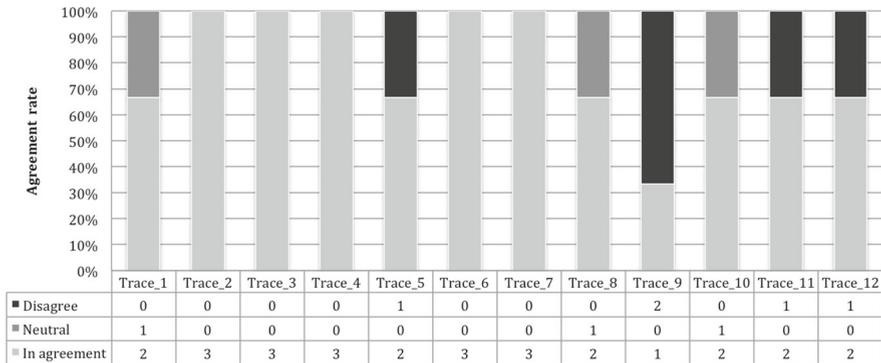


Fig. 6 Agreement rate between our results and the experts' analysis regarding the players' engagement. We consider that our results are validated since at least two experts are in agreement with them. The experts corroborated 11 of our results from 12 players. Thus, the agreement prediction rate of our approach is 91.67 %

We conducted a comparative evaluation based on the data collected. It consisted in measuring engagement, and the engaged-behaviour types, of our representative sample of players from their traces, and then comparing the results obtained with the experts' analysis.

7.4.1 Engagement prediction

Figure 6 presents the agreement between our results and the analysis of the experts regarding player's engagement (experts' answers to question 1). Note that we consider that there is agreement, on a specific trace, since at least two experts are in agreement with our result. In these histograms Neutral means that the expert chooses the "Without opinion" answer. We can observe that the experts' analysis corroborates our results for 11 of the 12 interaction traces. Therefore the engagement prediction rate of our approach is 91.67 %.

Regarding Trace_9, this player was identified as non-engaged by the game designers who collected the traces, by our results and by one expert. But 2 experts identified her/him as engaged. We conducted a deeper analysis of this trace in order to understand this disagreement. During the four months of the collection phase, we observe that Trace_9 played during 11 sessions spread from the 3rd January to the 10th April. Compared to the activity of the engaged-players, Trace_9 is quite low (see Tables 2 and 3). Indeed this player can stay several weeks without playing. More interestingly, while no *obsels* from the activity level has arisen, some *obsels* of the action level (belonging to the *activity* 'Achieve challenges') were generated during our analysis. This indicates that this player has expressed an interest for this *activity* but not an engagement (according to our definition). So maybe this relative activity misleads the 2 experts.

Another result is worth discussing. We identified one player of the Users Group 2 (Trace_7) as being engaged while this player belongs to the group of players judged as non-engaged by the game designers who collected the traces. As indicated in Fig. 6,

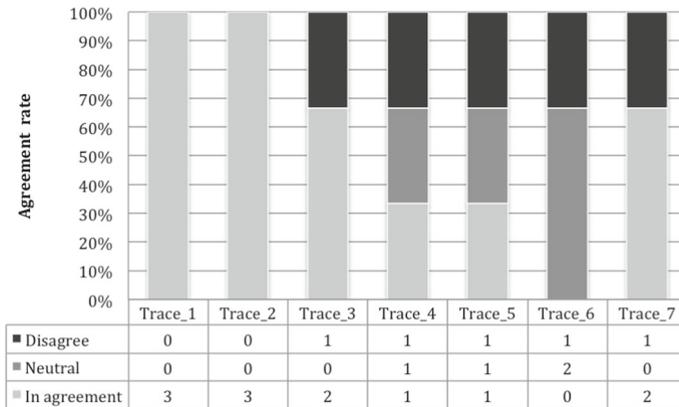


Fig. 7 Agreement rate between our results and the experts' analysis regarding the social-engagement. We consider that our results are validated since at least two experts are in agreement with them. Thus, the social-engagement prediction rate of our approach is of 80%

the three experts agreed with our analysis. By comparing Tables 2 and 3 we can observe that Trace_7 has quite a low number of *obsels* from a low variety compared to the engaged-players of the Users Group 1. This difference may mislead the game designers regarding his/her engagement. We notice that Trace_7 has less number of *obsels* from the *activity* level than the other engaged-players. This observation gives rise to a question regarding the level of engagement of the players. We address this question of the level of engagement in the Sect. 9 relative to our future work.

7.4.2 Types of engagement prediction

In this part, we validate our approach regarding the identification of the types of engaged-behaviours (i.e the qualitative dimension of our approach). Based on the engaged players' interaction traces, we identified their types of engaged-behaviours and compared our results with the analysis of the experts. We consider that there is consistency between our prediction and experts' analysis since at least two experts are in agreement with our results.

Figure 7 presents the agreement rate between our results and the analysis of the experts regarding players' social-engagement (experts' answers to question 2). As we implemented two social-directed *activities*, we consider that a trace reflects a social-engagement if at least one *obsel* from the level *activity* occurred in any of these two *activities*. The cases of Trace_4 and Trace_5 are omitted since the three experts disagreed (rule 4 of the meta-expertise). The experts' analysis corroborate the results obtained with our approach for 4 of the 5 traces of interaction (since Trace_4 and Trace_5 are omitted). Therefore the social-engagement prediction rate of our approach is 80%.

To go deeper into the analysis of this prediction rate we identified three profiles of players:

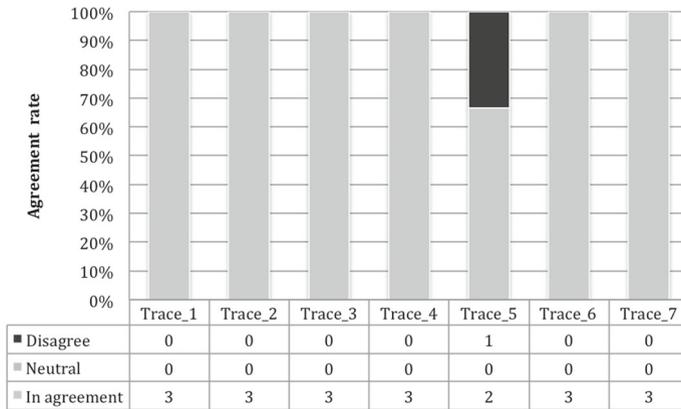


Fig. 8 Agreement rate between our results and the experts' analysis regarding the action-engagement. We consider that our results are validated since at least two experts are in agreement with them. Thus, the action-engagement prediction rate of our approach is 100 %

1. the players engaged in both of the implemented social-activities: Trace_1, Trace_3;
2. the players engaged in only one activity: Trace_4, Trace_5, Trace_6, Trace_7;
3. the players who have manifested no social-engagement: Trace_2.

We can observe that the agreement rate is very high when the players adopt a contrasted behaviour (cases 1 and 3). But in case 2 the judgement of the experts is more difficult (and so this validation step). Among the two implemented social-activities, 'Develop new social relationship' is oriented towards the unknown players while 'Share moments with real friends' is oriented towards the social network of the players. It may be possible that some experts had some preconceptions about the type of social-engagement they were looking for in players' traces (social-engagement oriented towards unknown players vs. towards the players' social network). This may explain the disputed cases of this step.

Figures 8 and 9 present the agreement rate between our results and the analysis of the experts regarding players' action-engagement (experts' answers to question 3) and environment-engagement (experts' answers to question 4) respectively. Regarding the action and environment engagement identified in Sect. 5.1, the experts' analysis in both cases corroborates our results obtained with our approach for the 7 interaction traces. Therefore the action and environment engagement prediction rate is 100 %. As for each types of engaged-behaviours we analysed only one *activity*, the ambiguity that might occur with the social-engagement agreement rate could not occur here.

In summary, considering the three types of engaged behaviours, 21 judgements have been performed (three types of engagement applied to 7 traces of interaction). In accordance with the rule 4 of the meta-expertise presented in Sect. 7.3, the judgements for the traces Trace_4 and Trace_5 were omitted in the analysis of social engagement. Thus the experts corroborate the results of our approach for 18 of the 19 retained cases. Regarding the prediction of the type of engaged-behaviours, we obtain the rates of 80 % for the social-engagement and 100 % for both the action-engagement and the environment engagement.

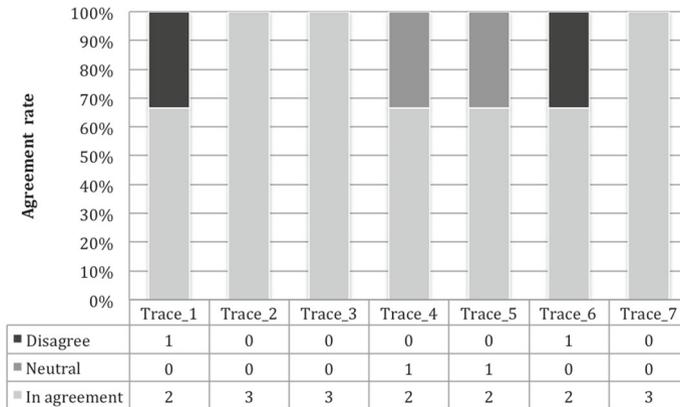


Fig. 9 Agreement rate between our results and the experts' analysis regarding the environmental-engagement. We consider that our results are validated since at least two experts are in agreement with them. Thus, the environmental-engagement prediction rate of our approach is 100%

7.5 Discussion and limitations of the study

As the Bodyboarding game was played online with anonymous players from all over the world, we could not contact them to ask them to participate in a study on a large scale. So we decided to set up a validation protocol based on the expertise of experts in this game. As this validation by several experts is long and complex, the number of traces of players analysed was limited. However, we set up a longitudinal study over a long period (4 months), and an evaluation protocol based on the intervention of experts, that ensure the quality of the data analysed (extraction of representative traces) and a qualified expertise to evaluate the results of our approach. It should be noted that this kind of study collects data from a small number of participants because of the labour intensive nature of the data collection and analysis (e.g., analysis of data, identification of low-level transformation rules, analysis of traces by the experts).

This study showed the performance of our approach in the context of a social game, applied to a set of heterogeneous traces that gather engaged and non-engaged players and also several types of engaged-behaviours. In fact, we observed that some engaged-players may express both social and action types of engaged-behaviours (like Trace_1 and Trace_7) while other engaged-players express a social or an action engaged-behaviour. For example, despite the game used in our study being considered as a social game, Trace_2 shows absolutely no interest in other players (neither confrontation nor consultation of other players' profiles). This last observation highlights the fact that the results may be different from designers' intuitions.

We also demonstrated that our approach can identify two clearly differentiated types of *social* engagement: one directed toward players' existed friends (Trace_1), the other directed toward unknown players (Trace_5). Furthermore, 50–60% of the primary traces studied are composed of the four *obsels goto_map*, *goto_zone*, *goto_spot* and *play_start*, which reflect the path followed by the player in the game. Notice that these *obsels* are fully determined by the gameplay and do not reflect a behaviour. Thus,

most of the sequences returned by sequence-mining would derive from these 4 *obsels*. These results show the relevance of a tool that allows for a qualitative analysis of users' engagement.

8 Summary and discussion

8.1 Summary of the contribution

This paper presents a qualitative approach and its implementation with the D3KODE prototype in order to identifying users' engagement and qualifying their engaged-behaviours from their interaction traces in interactive systems. Our approach enables us to detect engaged-behaviours in low-constraint interactive systems, directly, continuously and under ecologically valid conditions and over a long period of time.

To extract valuable and qualitative, rather than quantitative, information from users or system-generated raw data, we adopt a theory-driven approach. This approach establishes a relationship between users' needs, motives, high-level engaged-behaviours and the actions actually performed during the interactive mediated activity. To this end, it relies on three theories combined through a three-stage process:

1. The Self-Determination Theory to determine high-level engaged-behaviours.
2. The Activity Theory to characterize engaged-behaviours.
3. The Trace Theory to detect and extract engaged-behaviours from the raw data collected and recorded.

We implemented this approach with the D3KODE prototype by providing the following features: loading the data as a primary trace, creating the rules of transformation and visualising the primary and transformed traces. This prototype can detect the *operations* between the recorded users' interactions and establish the relationship between users' *operations*, *actions* and *activities*. We implemented 4 *activities* reflecting different types of engaged-behaviours. This implementation thus demonstrates the feasibility of the process underlying our approach (collecting the events, storing and organising the data and qualifying users' behaviours).

In order to ensure the validity of the engagement and engaged-behaviours identified with our approach, we conducted a user study on a social game. According to a precise protocol, we validated the results obtained with our approach with the results of the three experts' analysis. Regarding the players' engagement prediction, the prediction rate of our approach is 91.67%. Regarding the prediction of the type of engaged-behaviours, we obtain the rates of 80% for the social-engagement and 100% for both the action-engagement and the environment-engagement. These results demonstrate that our approach can be used to identify users' engagement and their type of engaged-behaviours from their interaction traces, with a high prediction rate.

The following examples illustrate how the qualitative analysis provided by our approach may be used by designers within the QUEJANT project. Our results may support the designers in gaining a better understanding of their players. For instance, quantitative methods may simply compute statistics on the waves surfed with the interaction data collected. So, while quantitative methods may only inform about the activity of the players (i.e. the number of waves surfed), our approach allows us to

know if a wave was surfed in order to achieve a challenge, to play with friends or to meet other players. This informs about the specific interests of each players. In the present example we can know if a wave is surfed from an action or social perspective. The information returned through our approach may also help designers to implement a strategy of personalisation in order to maintain users' engagement. For instance during our study we observed that Trace_2 is indifferent to the social mechanics implemented in the game. This indicates that, in this game, Trace_2 did not express a social engagement. In order to maintain his/her engagement, the designers should focus on the other dimensions of the game (action, environment or self) to fulfill the other needs that this player may have expressed. Also the identification of the type of users' social-engaged behaviours (oriented towards unknown players or towards their social network) may be used by designers and facilitators to adapt and personalise the interactive system regarding the community engagement.

8.2 Discussion

8.2.1 Genericity and applicability of our approach

We adopt the Self-Determination Theory to distinguish some engaged-behaviours. Relying on this perspective rather than on empirical observation of users' behaviours, enables one to determine a wide and non-stereotyped range of behaviours. Indeed, since the basic psychological needs are considered as being universal, the behaviours reflecting engagement are not constrained by the "observed" features of the interactive system. For instance, as the game used in our implementation is a social game, we should have only considered some social engaged-behaviours. But through the SDT perspective we have also considered some action and environmental engaged-behaviours. This approach allows one to deal with more varied and particular engaged-behaviours in different contexts.

Our approach was applied to a social online game in the QUEJANT project. This application context allowed us to compare our proposals with the reality on the ground through experts and real data. But the decomposition of engaged-behaviours into *activities* and *actions* can be transferred to other games or interactive systems. Indeed, the *activities* and *actions* levels, and the rules that can infer *activities* from *actions* are broadly shared by different types of systems.

The specific part of the approach, which depends on the interactive system used, is the construction of transformation rules to infer the generic *actions* from the *operation* level (the *obsels* of the primary trace dependent on the interactive system). This specific part of the approach requires good knowledge of the actions that users can perform with the interactive system, so as to be able to identify among all the events collected in the primary trace those that make it possible to identify these actions. The construction of the transformation rules may require definition of some time intervals between the input *obsels* of the rules. This step involves carefully analysing the traces in order to determine the suitable time interval for each rules. This step may appear laborious but is quite straightforward for the designers or the facilitators of the interactive mediated activity as they know their system and how the users use it well.

To identify high-level activities, our approach requires an analysis of the mediated activity from an Activity Theory perspective. Then the Trace Theory can reify the relations previously identified between a chain of *operations* and an *action*, and a chain of *actions* and an *activity*. The application of the proposed process on interactions traces makes it possible to observe the potential generation of intended high-level *obsels*. We specify that our approach does not make it possible to discover unexpected high-level *obsels*. It is focused on the identification of qualitative information that cannot be discovered by classical data mining methods.

From a methodological point of view, the use of our approach involves three steps:

1. Collection of traces: it consists in collecting events generated by user actions and representing them in generic *obsels* in the primary trace. The adaptability to various interactive systems is fairly simple as a few lines in JavaScript are needed in order to collect an event.
2. Execution of transformation rules: the execution of transformation rules can extract high-level information reflecting the engagement of the user from the primary trace.
3. Visualisation of different trace levels: it consists in visualizing the three trace levels and the relationships between them. This visualization allows the expert to better understand the origin of the users' engagement or non-engagement.

This methodology has of course some technical limits associated with the collection of traces and scalability. Indeed, our approach based on users' traces requires a collection system for recording users' actions in the system. Thus, in certain applications, this collection could reduce the system performance. In addition, data collection requires a modelling effort and additional development since the designer must a priori define the events to trace, develop tools to record and process the data collected in order to represent them in generic *obsels*. For instance in a massively multiplayer online game, the storage and processing of the recorded data can pose problems, especially when scaling, such as: the server capacity to support a very large storage capacity and data cleaning. Thus, scaling requires additional processing that we have not discussed in this paper, but that could be the subject of future work. This is part of all the current issues related to big data.

8.2.2 Implications for behaviour change

We discussed in Sect. 2 the importance of detecting users' specific needs and motivations to being able to personalise the digital intervention accordingly. In this section, we present more specifically the implications of the identification and qualification of the users' engagement for the behaviour change.

We consider users' engagement as a pre-requisite for ensuring the effectiveness of the behaviour change process. The approach proposed in this paper and its implementation are a contribution for this process, as it makes it possible to identifying users' engagement directly and continuously. As our approach can identify the type(s) of users' engaged-behaviour, it is thus possible to personalise the digital intervention according to this information for each user or each type of engaged-behaviour. Furthermore, as this approach is based on the universal Self-Determination Theory, it can also establish a link between users' needs and motivations and users' engagement.

So we argue that our approach can be part of the process of digital intervention for behaviour change. Also, since users' needs, expectations and motivations, and thus their engagement and type of engaged-behaviours, may evolve during the activity; our approach may be relevant to conducting longitudinal studies and thus addressing the alternative phases of engagement and disengagement.

According to our contribution, the digital intervention for behaviour change will be based on the information returned by our system: the engaged and non-engaged users, and the type(s) of engaged-behaviours. This information can be communicated to the designer or to the facilitator of the activity in order to personalise its form and its content, or to adapt the persuasive or affective strategies. Let us take an example where the activity uses a social engagement strategy to support behaviour change. If our system indicates that no social activity *obsels* can be generated from the participants' traces, this may lead to several interpretations. Either the participants show no need or motivation for social interactions, or the activity proposed is lacking in social interaction support or strategy. The designer can so modify the system to add more social interaction possibilities or the facilitator can propose more social interactions between users with the proposed interactive technology.

The information about users' engagement could also be communicated to the users themselves to provoke and support reflexive processes (Clauzel et al. 2009). Reflexivity is defined as the ability to interact with the situation in order to meet its own cognitive and socio-cognitive limitations (Schön 1984). Through reflexivity, individuals can exercise control over their cognitive activity and actions, which allows individual and collective self-assessment and constructive criticism on oneself. This is particularly interesting in project-based learning, which aims to help learners acquire various linked skills or develop their behaviours (Michel et al. 2012). In this context, learners can regulate their learning by monitoring their own behaviours (Zimmerman 2000; Scheffel et al. 2010).

In a collaborative mediated activity, this information could be part of the information presented on group awareness tools. Group awareness has been well defined by Buder and Bodemer (2011) as knowledge about the social and collaborative environment in which the person is working (e.g., knowledge about the activities, presence or participation of group members). Group awareness tools supply information to students to facilitate coordination and regulation of activities in the content space or the relational space (Janssen et al. 2011). They were developed in the Computer Supported Collaborative Learning (CSCL) area to foster the acquisition of group awareness, which is helpful for efficient group performance by presenting social comparison and guide for activities (Engelmann et al. 2009). Engagement with the mediated activity could be part of the information presented to the group to foster the social comparison and maybe discussions within the group to establish new goals and/or strategies.

Finally, we can imagine that the system itself could use the information about engagement for an automatic adaptation of the mediated activity. For this, the system should be parametrised so as to generate the relevant intervention according to the information about users' engagement. In addition, this requires the system to have information about its own processes, the mediated activity, and adaptation rules. So this could be the last step in an automatic digital intervention process based on our approach.

9 Future work

A challenging part of our future work will be to address the group dimension of engagement. At this stage of our works, we analyse individual users' engagement. The group dimension involves two different issues: 1) the detection of community engagement and 2) obtaining information about a group of users on a same interface. Concerning the first issue, analysing how users interact together during the interactive activity may enable us to identify and qualify community engagement. This analysis can be based on the interaction traces of the community. That first implies to define new high-level activities according to theoretical works on community engagement and then to identify the underlying actions, operations and transformation rules. These rules can then be implemented in the D3KODE system. The second issue concerns the visualization of the engagement and types of engaged-behaviours of several users at the same time. This information could be very useful for the designer or facilitator, so as to adapt the game to collective behaviours. In fact, for an interactive system used by many users, designers need information on all these users on a synthetic view so as to be able to adapt it to the users' behaviours. A synthetic view should present the behaviours of many users at a glance, for instance the number of engaged and non-engaged users or the number of users for each type of engaged-behaviour. These two issues give rise to a problem of scalability (number of users, volume of collected data) referring to the Big Data issue.

Another important part of our future work will be dedicated to the design of interfaces for both designers and users of the interactive system. The analysis of the interaction traces can currently be visualized and understood by analysts that are familiar with the D3KODE tool. As we plan to help designers to adapt the interactive system and to support reflexive processes for the users, we have to design adapted interfaces (i.e. dashboards) that present the engaged (vs. non-engaged) users, and the type(s) of engaged-behaviour(s) in a relevant way. So we will have to automatically deduce this synthesis information on engagement from the actual information given by the D3KODE system. According to the functioning of dashboards, we will also have to offer the possibility to access analysis views to help designers and users to understand the synthesis information. For instance, they may be interested in visualizing the actions level so as to understand the process of engagement, for example the reasons why the users are identified as being engaged or not. Furthermore, the interfaces have to be different as the needs of designers and users are different. So their design will require their participation for a relevant analysis of their needs according to an iterative and participative design approach.

Looking further ahead, we plan to refine our approach to be able to analyse more precise information on users' engagement. On the one hand, we will address the complex issue of the alternative phases of engagement, disengagement and reengagement. For that, we will take into account the distribution (e.g. number, frequency) of the high-level *obsels* during over the time. On the other hand, we will address the issue of the identification of the level of users' engagement. For example, can we consider that a user that generates ten high-level *obsels* (activities) and another one that generates only two high-level *obsels* have the same level of engagement? To answer this

question, it will be necessary to conduct complex user studies by combining different analysis methods like questionnaires or interviews and experts analysis.

Acknowledgments The research reported in this paper has been conducted within the QUEJANT project which involved the LIRIS Laboratory and the video games companies Corexpert, Intellysurf and Kiniro. Funding for this project was provided by a grant from la Région Rhône Alpes and Le Grand Lyon. The QUEJANT project was labelled by the french competitiveness cluster Imaginove. The authors would like to thank the reviewers and editors of this special issue for their insightful and constructive comments and suggestions.

Appendix A: Information regarding the nature of engagement communicated to the three experts involved in the user study

We communicated to the experts a document stating our position regarding the nature of engagement and describing, through simple examples, the four types of engagement that we have identified.

Note from the authors: the document was originally in French so we provide an English translation below.

Definition 1 (*engagement*)

We consider the engagement of a player as the desire to have emotions, affect and thoughts directed to and determined by the mediated activity. This “engaged” state means in particular that:

- The game arouses emotions (such as joy, pride, accomplishment, enjoyment or frustration) for the player.
- The game occupies the thoughts of the player during the gaming sessions but also outside.
- The player wishes to continue playing.

Thus, the engagement requires an intellectual and emotional investment from the player which goes beyond the discovery phase of the game. Engagement can be considered as a link between gaming sessions and between the sessions and the player.

Definition 2 (*environment-directed engagement*)

The player engagement can be directed to the game environment. Such engagement includes two types of behaviours:

- Contemplation: the player attaches importance to the aesthetic of the game (visual, sound), the scenario, the storytelling, the ability to ‘walk’ in the game, etc..
- Curiosity: the player has fun in the discovery phase of the game, s/he likes configuring the characteristics of the game, s/he wants to understand the game mechanisms, to explore the environment, to discover hidden content, to get further information on the game, etc..

Definition 3 (*social-directed engagement*)

The player engagement can be directed to the other players of the game. In that case, the player plays for example to:

- Share moments with friends.
- Connect with others players.
- Feel the pleasure of social interactions (competition, cooperation) with other players.
- Establish a position in the group.

Definition 4 (*self-directed engagement*)

The player engagement can be directed to her/his character in the game. In that case, the player has fun in:

- Managing her/his character.
- Customizing and differentiating her/his character (name, gender, appearance, equipment).
- Giving life to her/his character, creating a story.

Definition 5 (*action-directed engagement*)

The player engagement can be directed to the action to carry out in the game. In that case, the player plays to:

- Take up a challenge (set by the game or by him/herself), or to break records.
- Feel a sense of accomplishment, skill or excitement.
- Confront the difficulties and challenges.
- Develop strategies, improve his/her technique.

References

- Andersen, E., O'Rourke, E., Liu, Y.E., Snider, R., Lowdermilk, J., Truong, D., Cooper, S., Popovic, Z.: The impact of tutorials on games of varying complexity. In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 59–68. ACM, Austin, Texas, USA, CHI 2012 (2012)
- Arroyo, I., Cooper, D.G., Burleson, W., Woolf, B.P., Muldner, K., Christopherson, R.: Emotion sensors go to school. In: Proceedings of the 2009 Conference on Artificial Intelligence in Education: Building Learning Systems that Care: From Knowledge Representation to Affective Modelling, pp. 17–24. IOS Press, Brighton, UK (2009)
- Attfield, S., Kazai, G., Lalmas, M., Piwowarski, B.: Towards a science of user engagement (position paper). In: WSDM Workshop on User Modelling for Web Applications, Hong Kong, China (2011)
- Barak, A., Hen, L., Boniel-Nissim, M., Shapira, N.: A comprehensive review and a meta-analysis of the effectiveness of internet-based psychotherapeutic interventions. *J. Technol. Human Serv.* **26**(2–4), 109–160 (2008)
- Baranowski, T., Baranowski, J., Cullen, K.W., Marsh, T., Islam, N., Zakeri, I., Honess-Morreale, L., deMoor, C.: Squire's quest! Dietary outcome evaluation of a multimedia game. *Am. J. Prev. Med.* **24**(1), 52–61 (2003)
- Baranowski, T., Buday, R., Thompson, D.I., Baranowski, J.: Playing for real: video games and stories for health-related behavior change. *Am. J. Prev. Med.* **34**(1), 74–82 (2008)
- Bardram, J.E.: Plans as situated action: an activity theory approach to workflow systems. In: Proceedings of the Fifth Conference on European Conference on Computer-Supported Cooperative Work, ECSCW'97, pp. 17–32. Kluwer, Lancaster, UK (1997)
- Bauchhage, C., Kersting, K., Sifa, R., Thureau, C., Drachen, A., Canossa, A.: How players lose interest in playing a game: an empirical study based on distributions of total playing times. In: Lucas, S., Cho, S.-B., M.S.E. (eds.) Proceedings of the IEEE Conference on Computational Intelligence and Games, CIG 2012, pp. 139–146. Granada, Spain (2012)
- Beal, C.R., Qu, L., Lee, H.: Classifying learner engagement through integration of multiple data sources. In: Proceedings of the 21st National Conference on Artificial Intelligence—Volume 1, AAAI'06. Boston, Massachusetts, pp. 151–156 (2006)

- Bianchi-Berthouze, N.: Understanding the role of body movement in player engagement. *Human Comput. Interact.* **28**(1), 40–75 (2013)
- Bouvier, P., Lavoué, E., Sehaba, K., George, S.: Identifying learner's engagement in learning games—a qualitative approach based on learner's traces of interaction. In: Foley, O., Restivo, M.T., Uhomoihibi, J.O., Helfert, M. (eds.) *Proceedings of the 5th International Conference on Computer Supported Education, CSEDU 2013*, pp. 339–350. SciTePress, Aachen, Germany (2013a)
- Bouvier, P., Sehaba, K., Lavoué, E., George, S.: Using traces to qualify learner's engagement in game-based learning. In: *Proceedings of The 13th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2013*, pp. 432–436. IEEE Computer Society, Beijing, China (2013b)
- Boyle, E.A., Connolly, T.M., Hainey, T., Boyle, J.M.: Engagement in digital entertainment games: a systematic review. *Comput. Human Behav.* **28**(3), 771–780 (2012)
- Brockmyer, J.H., Fox, C.M., Curtiss, K.A., McBroom, E., Burkhart, K.M., Pidruzny, J.N.: The development of the game engagement questionnaire: a measure of engagement in video game-playing. *J. Exp. Soc. Psychol.* **45**(4), 624–634 (2009)
- Brown, E., Cairns, P.: A grounded investigation of game immersion. In: *CHI '04 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA 2004*, pp. 1297–1300. Vienna, Austria (2004)
- Buder, J., Bodemer, D.: Group awareness tools for controversial cscl discussions: dissociating rating effects and visualized feedback effects. In: *9th International Conference on Computer Supported Collaborative Learning, CSCL 2011*, pp. 358–365. Hong Kong (2011)
- Calvo, R., D'Mello, S.: Affect detection: an interdisciplinary review of models, methods, and their applications. *IEEE Transactions on Affective Computing* **1**(1), 18–37 (2010)
- Camerini, L., Giacobazzi, M., Boneschi, M., Schulz, P.J., Rubinelli, S.: Design and implementation of a web-based tailored gymnasium to enhance self-management of fibromyalgia. *User Model User-Adapt Interact* **21**(4–5), 485–511 (2011)
- Canossa, A., Drachen, A.: Patterns of play: play-personas in user-centred game development. In: Barry, A., Helen, K., Tanya, K. (eds.) *Breaking New Ground: Innovation in Games, Play, Practice and Theory: Proceedings of the 2009 Digital Games Research Association Conference*. Brunel University, London, UK (2009)
- Champalle, O., Sehaba, K., Cosmas, D., Mille, A., Prié, Y.: Assistance to trainers for the observation and analysis activities of operators trainees on nuclear power plant full-scope simulator. In: *International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS 2012)*, pp. 33–40. IEEE Computer Society, Bucharest, Romania (2012)
- Champin, P.A., Prié, Y., Aubert, O., Conil, F., Cram, D.: ktbs: Kernel for trace-based systems. <http://kernel-for-trace-based-systems.readthedocs.org/en/latest/>, a reference implementation of the notion of Trace Based Management System. Allows to store and compute modeled traces, and access them through a RESTful interface (2011)
- Chen, M., Kolko, B.E., Cuddihy, E., Medina, E.: Modeling but not measuring engagement in computer games. In: *Proceedings of the 7th International Conference on Games Learning Society, GLS'11*, pp. 55–61. ETC Press, Madison, Wisconsin, USA (2011)
- Chittaro, L., Zangrando, N.: The persuasive power of virtual reality: effects of simulated human distress on attitudes towards fire safety. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Persuasive Technology, PERSUASIVE 2010*, pp. 58–69. Springer, Copenhagen, Denmark (2010)
- Christensen, H., Griffiths, M.K., Farrer, L.: Adherence in internet interventions for anxiety and depression: systematic review. *J. Med. Internet Res.* **11**(2), e13 (2009)
- Clauzel, D., Sehaba, K., Prié, Y.: Modelling and visualising traces for reflexivity in synchronous collaborative systems. In: *Proceedings of the 2009 International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems, INCoS 2009*, pp. 16–23. IEEE Computer Society, Barcelona, Spain (2009)
- Clauzel, D., Sehaba, K., Prié, Y.: Enhancing synchronous collaboration by using interactive visualisation of modelled traces. *Simul. Model. Pract. Theory* **19**(1), 84–97 (2011)
- Cocca, M., Weibelzahl, S.: Log file analysis for disengagement detection in e-learning environments. *User Model. User-Adapt. Interact.* **19**(4), 341–385 (2009)
- Consolvo, S., Everitt, K., Smith, I., Landay, J.A.: Design requirements for technologies that encourage physical activity. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 2006*, pp. 457–466. ACM, Montréal, Québec, Canada (2006)
- D'Mello, S.K., Craig, S.D., Sullins, J., Graesser, A.C.: Predicting affective states expressed through an emote-aloud procedure from autotutor's mixed-initiative dialogue. *Int. J. Artif. Intell. Educ.* **16**(1), 3–28 (2006)

- Dietterich, T.G.: Machine learning for sequential data: a review. In: Proceedings of the Joint IAPR International Workshop on Structural, Syntactic, and Statistical Pattern Recognition, pp. 15–30. Springer, Windsor, ON, Canada (2002)
- Doherty, G., Coyle, D., Sharry, J.: Engagement with online mental health interventions: an exploratory clinical study of a treatment for depression. In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 2012, pp. 1421–1430. ACM, Austin, TX, USA (2012)
- Donkin, L., Christensen, H., Naismith, L.S., Neal, B., Hickie, B.I., Glozier, N.: A systematic review of the impact of adherence on the effectiveness of e-therapies. *J. Med. Internet Res.* **13**(3), e52 (2011)
- Engelmann, T., Dehler, J., Bodemer, D., Buder, J.: Knowledge awareness in cscl: a psychological perspective. *Comput. Human Behav.* **25**(4), 949–960 (2009)
- Fogg, B.J.: *Persuasive Technology: Using Computers to Change What We Think and Do*. Morgan Kaufmann, Amsterdam (2002)
- Fogg, B.: A behavior model for persuasive design. In: Proceedings of the 4th International Conference on Persuasive Technology, Persuasive 2009, pp. 40:1–40:7. ACM, Claremont, CA, USA (2009)
- Fredricks, J.A., Blumenfeld, P.C., Paris, A.H.: School engagement: potential of the concept, state of the evidence. *Rev. Educ. Res.* **74**, 59–109 (2004)
- Froehlich, J., Dillahunt, T., Klasnja, P., Mankoff, J., Consolvo, S., Harrison, B., Landay, J.A.: Ubigreen: investigating a mobile tool for tracking and supporting green transportation habits. In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 2009, pp. 1043–1052. ACM, Boston, Massachusetts, USA (2009)
- Gagné, A.R., El-Nasr, M.S., Shaw, C.D.: A deeper look at the use of telemetry for analysis of player behavior in rts games. In: Proceedings of the 10th International Conference on Entertainment Computing, ICEC'11, pp. 247–257. Springer, Vancouver, Canada (2011)
- Garris, R., Ahlers, R., Driskell, J.E.: Games, motivation, and learning: a research and practice model. *Simul. Gaming* **33**(4), 441–467 (2002)
- Hägäni, K., Eng, K., Hepp-Reymond, M.C., Holper, L., Keisker, B., Siekierka, E., Kiper, D.C.: The effect of task and ownership on time estimation in virtual environments. In: Presence 2007: The 10th Annual International Workshop on Presence, pp. 145–150, Barcelona, Spain (2007)
- Hassenzahl, M., Tractinsky, N.: User experience—a research agenda. *Behav. Inf. Technol.* **25**(2), 91–97 (2006)
- Honka, A., Kaipainen, K., Hietala, H., Saranummi, N.: Rethinking health: Ict-enabled services to empower people to manage their health. *IEEE Rev. Biomed. Eng.* **4**, 119–139 (2011)
- Jackson, T.: *Motivating Sustainable Consumption. A Review of Evidence on Consumer Behaviour and Behavioural Change*. Tech. rep., University of Surrey, http://hiveideas.com/attachments/044_motivatingcsfinal_000.pdf, a report to the Sustainable Development Research Network (2005)
- Janssen, J., Erkens, G., Kirschner, P.A.: Group awareness tools: it's what you do with it that matters. *Comput. Hum. Behav.* **27**(3), 1046–1058 (2011)
- Jennett, C., Cox, A.L., Cairns, P., Dhoparee, S., Epps, A., Tijs, T., Walton, A.: Measuring and defining the experience of immersion in games. *Int. J. Hum.-Comput. Stud.* **66**(9), 641–661 (2008)
- Kaptelinin, V.: The object of activity: making sense of the sense-maker. *Mind Cult. Activity* **12**(1), 4–18 (2005)
- Kaptelinin, V., Nardi, B.A.: *Acting with Technology: Activity Theory and Interaction Design*. MIT Press, Cambridge (2006)
- Kim, J.H., Gunn, D.V., Schuh, E., Phillips, B., Pagulayan, R.J., Wixon, D.: Tracking real-time user experience (true): a comprehensive instrumentation solution for complex systems. In: Proceedings of the Twenty-Sixth Annual SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 2008, pp. 443–452. ACM, Florence, Italy (2008)
- Kivikangas, J.M., Chanel, G., Cowley, B., Ekman, I., Salminen, M., Järvelä, S., Ravaja, N.: A review of the use of psychophysiological methods in game research. *J. Gaming Virtual Worlds* **3**(3), 181–199 (2011)
- Kjeldskov, J., Skov, M.B., Paay, J., Pathmanathan, R.: Using mobile phones to support sustainability: a field study of residential electricity consumption. In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 2012, pp. 2347–2356. ACM, Austin, TX, USA (2012)
- Köck, M., Paramythis, A.: Activity sequence modelling and dynamic clustering for personalized e-learning. *User Model. User-Adapt. Interact.* **21**(1–2), 51–97 (2011)
- Law, E.L.C., Roto, V., Hassenzahl, M., Vermeeren, A.P., Kort, J.: Understanding, scoping and defining user experience: a survey approach. In: Proceedings of the 27th International Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 2009, pp. 719–728. ACM, Boston, MA, USA (2009)

- Leontiev, A.N.: *Activity, Consciousness and Personality*. Prentice Hall, Englewood Cliffs (1978)
- Linehan, C., Kirman, B., Lawson, S., Chan, G.: Practical, appropriate, empirically-validated guidelines for designing educational games. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 2011*, pp. 1979–1988. ACM, Vancouver, BC, Canada (2011)
- Maitland, J., Chalmers, M.: Designing for peer involvement in weight management. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 2011*, pp. 315–324. ACM, Vancouver, BC, Canada (2011)
- Mandryk, R.L., Atkins, M.S., Inkpen, K.M. A continuous and objective evaluation of emotional experience with interactive play environments. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 2006*, pp. 1027–1036. ACM, Montréal, QC, Canada (2006)
- Michel, C., Lavoué, E., Pietrac, L.: A dashboard to regulate project-based learning. In: *Proceedings of the 7th European Conference on Technology Enhanced Learning, EC-TEL 2012*, pp. 250–263. Springer, Saarbrücken, Germany (2012)
- Michie, S., Johnston, M., Francis, J., Hardeman, W., Eccles, M.: From theory to intervention: mapping theoretically derived behavioural determinants to behaviour change techniques. *Appl. Psychol.* **57**(4), 660–680 (2008)
- Mintz, J., Aagaard, M.: The application of persuasive technology to educational settings. *Educ. Technol. Res. Dev.* **60**(3), 483–499 (2012)
- O'Brien, H.L., Toms, E.G.: What is user engagement? A conceptual framework for defining user engagement with technology. *J. Am. Soc. Inf. Sci.* **59**(6), 938–955 (2008)
- Orji, R., Vassileva, J., Mandryk, R.L.: Modeling the efficacy of persuasive strategies for different gamer types in serious games for health. *User Model. User-Adapt. Interact.* (this issue) (2014)
- Pagulayan, R.J., Keeker, K., Wixon, D., Romero, R.L., Fuller, T.: User-centered design in games. In: Jacko, J.A., Sears, A. (eds.) *The Human-Computer Interaction Handbook*, pp. 883–906. Lawrence Erlbaum, Hillsdale (2003)
- Picard, R.W.: *Affective Computing*. MIT Press, Cambridge (2000)
- Rich, C., Ponsleur, B., Holroyd, A., Sidner, C.L.: Recognizing engagement in human–robot interaction. In: *Proceedings of the 5th ACM/IEEE International Conference on Human–Robot Interaction, HRI '10*, pp. 375–382. IEEE Press, Osaka, Japan (2010)
- Ritterband, L., Thorndike, F., Cox, D., Kovatchev, B., Gonder-Frederick, L.: A behavior change model for internet interventions. *Ann. Behav. Med.* **38**(1), 18–27 (2009)
- Ryan, R.M., Deci, E.L.: Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *Am. Psychol.* **55**, 68–78 (2000)
- Scheffel, M., Wolpers, M., Beer, F.: Analyzing contextualized attention metadata with rough set methodologies to support self-regulated learning. In: *2010 IEEE 10th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT), ICALT 2010*, pp. 125–129. IEEE Computer Society, Sousse, Tunisia (2010)
- Schön, D.A.: *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. Basic Books (1984)
- Schubert, T., Friedmann, F., Regenbrecht, H.: The experience of presence: factor analytic insights. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.* **10**(3), 266–281 (2001)
- Settouti, L.S., Prié, Y., Marty, J.C., Mille, A.: A trace-based system for technology-enhanced learning systems personalisation. In: *Proceedings of the 2009 Ninth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2009*, pp. 93–97. IEEE Computer Society, Riga, Latvia (2009)
- Sidner, C.L., Kidd, C.D., Lee, C., Lesh, N.: Where to look: a study of human–robot engagement. In: *Proceedings of the 9th International Conference on Intelligent User Interfaces, IUI '04*, pp. 78–84. ACM, Funchal, Madeira, Portugal (2004)
- Tychsen, A., Canossa, A.: Defining personas in games using metrics. In: *Proceedings of the 2008 Conference on Future Play: Research, Play, Share, Future Play 2008*, pp. 73–80. ACM, Toronto, ON, Canada (2008)
- Vassileva, J.: Motivating participation in social computing applications: a user modeling perspective. *User Model. User-Adapt. Interact.* **22**(1–2), 177–201 (2012)
- Vygotsky, L.: *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press, Cambridge (1978)
- Zimmerman, B.J.: Attaining Self-Regulation: A Social Cognitive Perspective, pp. 13–40 (2000)

Patrice Bouvier received his Ph.D. in Computer Science from the Université Paris-Est (France) in 2009. His research focuses on the user experience during a mediated activity (technological and social). Presence in virtual reality during his Ph.D. (Title: Presence in virtual reality, a user centred approach). Engagement and engaged-behaviours in entertainment or learning games during his post-doc (QUEJANT project). His research interests lie in the areas of (Game) User Research, Entertainment and Serious Games and Virtual Reality through the following topics: user/player/learner experience understanding and modeling, behaviour analysis, gamification, immersive virtual environment and human-computer interaction.

Karim Sehaba is an Associate Professor of Computer Science at the University of Lyon 2 (Lyon, France), member of the LIRIS Laboratory (CNRS, UMR 5205). His main research interest lies in the field of Adaptive Serious Games. In this context, his research focuses on: user behaviour analysis based on interaction traces, interactive knowledge extraction and adaptation to the context of use. His research has been conducted in several multidisciplinary research projects in the fields of Technology Enhanced Learning and Assistance to persons with disabilities. More information available at his website: <http://liris.cnrs.fr/ksehaba/>.

Élise Lavoué is an Associate Professor of Computer Science at the IAE Lyon, Université Jean Moulin Lyon 3 and at the MAGELLAN Research Centre (Lyon, France). She is also a collaborator of the LIRIS Laboratory. She received in 2008 a Ph.D. degree in Computer Science from the INSA Lyon. Her research interests focus on the design of social learning environments and serious games to support learners' self-regulation, engagement and motivation, in the fields of Technology Enhanced Learning (TEL) and Computer Supported Collaborative Learning (CSCL). More information available at her website: <http://liris.cnrs.fr/elise.lavoue/>.